

SKRIPSI

**PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL
PADA JARAK SEPERTIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK**



Oleh :

MOHAMMAD SALEH

07.21.065

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2013

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL
PADA JARAK SEPERTIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN
BALOK

SKRIPSI

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang

Strata Satu (S -1)

Pada Hari : Rabu

Tanggal : 21 Agustus 2013

Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :
MOHAMMAD SALEH
0721065

Disahkan Oleh :

Ketua

Sekretaris


(Ir. H. Hirijanto, MT)


(Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT)

Anggota Penguji :

Penguji I

Penguji II


(Ir. Ester Priskasari, MT)


(Ir. H. Sudirman Indra, MSc)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2013

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL
PADA JARAK SEPERTIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN
BALOK**

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :
MOHAMMAD SALEH
0721065**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


(Ir. Bambang Wedyantadji, MT)


(Ir. A. Agus Santosa, MT)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1


(Ir. H. Hirijanto, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2013**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : MOHAMMAD SALEH

NIM : 07.21.065

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul:

**PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL
PADA JARAK SEPERTIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN
BALOK**

Adalah asli karya saya sendiri dan bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur hasil karya orang lain, kecuali yang disebut dari sumber asli dan tercantum dalam daftar pustaka.

Malang, September 2013

Yang membuat pernyataan

Mohammad Saleh

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPERTIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil-S1 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

Sehubungan dengan hal tersebut dalam kesempatan ini saya menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
3. Bapak Ir. H. Hirijanto, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil.
5. Bapak Ir. Bambang Wedyantadji, MT. sebagai Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. sebagai Dosen Pembimbing II.

Dengan segala kerendahan hati saya menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan, akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2013

Penulis

ABSTRAK

PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPERTIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK. Oleh : MOHAMMAD SALEH, NIM 0721065, Dosen Pembimbing I : Ir. Bambang Wedyantadji, MT., Dosen Pembimbing II : Ir. A. Agus Santosa, MT.

Kata kunci: beban, kuat geser, kuat lentur, lendutan, pola retak, sambungan.

Struktur bangunan gedung sering kali mengalami penundaan kelanjutan pembangunan akibat faktor biaya, bahan, cuaca dan lain sebagainya. Hal ini menyebabkan terjadinya sambungan pada beton dan tulangan. Sehingga dilakukan berbagai penelitian tentang pengaruh sambungan beton dan tulangan terhadap kekuatan balok.

Dengan model penyambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sepertiga bentang (B-1/3) diharapkan bisa memberikan informasi tentang pengaruh sambungan beton dan tulangan terhadap kekuatan balok. Tujuan penelitian ini adalah: Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok pada jarak sambungan 1/3 bentang berpengaruh terhadap lendutan, kuat lentur, kuat geser, pola retak dan keruntuhan balok bertulang. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil pengujian dengan $P_{maks} = 1090$ kg didapat nilai lendutan rata-rata pada balok tanpa sambungan (BTS) $\Delta = 9,19$ mm, kuat lentur = 6046095,438 Nmm, kuat geser = 6642,190876 N, dan untuk (B-1/3) didapat $P_{maks} = 940$ dengan nilai lendutan rata-rata $\Delta = 11.21$ mm, kuat lentur = 7020923,116 Nmm, kuat geser = 9341,846 N.

Dari hasil pengujian didapat selisih nilai lendutan sebesar -21,9804%, kuat lentur sebesar -22,5352% dan kuat geser sebesar -21,8944% (B-1/3) terhadap (BTS). Maka disimpulkan bahwa metode sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sepertiga bentang (B-1/3) tidak disarankan untuk diterapkan dalam pelaksanaan pembangunan struktur, karena besar pengaruhnya terhadap kekuatan balok.

DAFTAR ISI

<i>HALAMAN JUDUL</i>	<i>i</i>
<i>LEMBAR PERSETUJUAN</i>	<i>ii</i>
<i>LEMBAR PENGESAHAN</i>	<i>iii</i>
<i>LEMBAR KEASLIAN</i>	<i>iv</i>
<i>KATA PENGANTAR</i>	<i>v</i>
<i>ABSTRAK</i>	<i>vi</i>
<i>DAFTAR ISI</i>	<i>vii</i>
<i>DAFTAR TABEL</i>	<i>viii</i>
<i>DAFTAR GRAFIK</i>	<i>ix</i>
<i>DAFTAR GAMBAR</i>	<i>x</i>
<i>DAFTAR NOTASI</i>	<i>xi</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Hipotesa Penelitian	6

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1. Beberapa Penelitian Terdahulu.....	7
---	---

2.2. Pengekangan Pada Beton	8
2.3. Metoda Perencanaan.....	9
2.4. Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan	10
2.5. Baja Tulangan	11
2.6. Prinsip – Prinsip Perencanaan	12
2.7. Dasar Teori Analisa Lentur Penampang Persegi	16
2.8. Distribusi Tegangan Persegi Dari Whitney.....	17
2.9. Lentur Tulangan Tunggal.....	19
2.10. Lentur Tulangan Rangkap.....	20
2.11. Kekuatan Geser Dan Tulangan Geser	24
2.12. Perilaku Balok Akibat Gaya Geser	25
2.13. Persyaratan Perencanaan Tulangan Geser	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Parameter Penelitian.....	34
3.2. Model Analisa.....	35
3.3. Pengujian Di Laboratorium.....	35
3.3.1. Spesifikasi Material	35
3.3.2. Benda Uji.....	35
3.3.3. Tempat Pengujian Silinder dan Balok.....	36
3.3.4. Alat dan Bahan Pengujian	36
3.4. Populasi dan Sample	37
3.5. Umum	40
3.6. Analisa Hasil Laboratorium	40

3.6.1. Campuran beton	40
3.6.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder	41
3.6.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja	42
3.7. Analisa Teoritis	43
3.7.1. Control Kuat Lentur	44
3.7.2. Penulangan Kuat Geser	48
3.7.3. Perhitungan Lendutan	51
3.7.4. Retak Awal	57
3.7.5. Perhitungan Lebar Awal	58
3.7.6. Perhitungan Kuat Lentur	64
3.7.7. Perhitungan Kuat Geser	67

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Eksperimen	70
4.1.1. Analisa Lendutan Balok Tanpa Sambungan (BTS)	70
1. Balok Tanpa Sambungan A	70
2. Balok Tanpa Sambungan B	73
3. Balok Tanpa Sambungan C	76
4. Gabungan hubungan beban-lendutan (BTS)	79
4.1.2. Analisa Lendutan Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3)	83
1. (B 1/3) – A	83
2. (B 1/3) – B	87
3. Gabungan hubungan beban-lendutan (B 1/3)	90

4. Perbandingan Lendutan BTS dan (B-1/3)	95
4.1.3. Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen	96
1. (BTS)	96
2. (B 1/3)	100
3. Perbandingan kuat lentur BTS dan (B-1/3)	104
4.1.4. Perhitungan Kuat Geser Eksperimen	104
1. (BTS)	104
2. (B 1/3)	108
3. Perbandingan kuat geser BTS dan (B-1/3)	112
4.2. Pembahasan	113
4.2.1. Lendutan	113
4.2.2. Kuat Lentur	116
4.2.3. Kuat Geser	117
4.2.4. Mekanisme Pola Retak	118

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	123
5.2. Saran	124

DAFTAR PUSTAKA	125
----------------------	-----

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

a	Tinggi balok tegangan
A	Luas benda uji
A_s	Luas tulangan tarik
$A's$	Luas tulangan tekan
Z	Besaran pembatas distribusi tulangan lentur
V_u	Gaya geser
I_{cr}	Momen inersia penampang retak transformasi
I_g	Momen inersia penampang bruto beton terhadap sumbu pusat penampang, dengan mengabaikan tulangan
b	Lebar balok
h	Tinggi balok
d	Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tarik tulangan
d'	Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan
n	rasio modulus
y	Jarak sumbu netral penampang ke serat paling tertekan
C_c	Gaya tekan beton
C_s	Gaya tekan baja
Δ	Lendutan / defleksi
E_c	Modulus elastisitas beton
E_s	Modulus elastisitas baja
f'_c	Kuat tekan beton
f_y	Kuat leleh baja
I_e	Momen inersia

M	Momen
M _{cr}	Momen retak dari beton
M _n	Momen nominal
P	Gaya / beban
Ø	Diameter tulangan baja

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 3.1. Proporsi campuran beton hasil mix design</i>	41
<i>Tabel 3.2. Hasil pengujian kuat tekan beton</i>	42
<i>Tabel 3.3. Pemeriksaan mutu baja</i>	42
<i>Tabel 3.4. hasil analisa teoritis untuk pembebanan maksimum</i>	48
<i>Tabel 3.5. Hasil analisa momen inersia penampang retak (I_{cr})</i>	53
<i>Tabel 3.6. Hasil analisa momen retak (M_{cr})</i>	54
<i>Tabel 3.7. Hasil analisa teoritis lendutan (Δ)</i>	60
<i>Tabel 3.8. Kuat Lentur Teoritis</i>	64
<i>Tabel 3.9. Kuat Geser Teoritis</i>	67
<i>Tabel 4.1. Data hasil eksperimen balok tanpa sambunga A (BTS-A)</i>	70
<i>Tabel 4.2. Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan B (BTS-B)</i>	74
<i>Tabel 4.3. Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan C (BTS-C)</i>	77
<i>Tabel 4.4. Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan A,B,C & rata-rata</i>	79
<i>Tabel 4.5. Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepetiga bentang (1/3) A</i>	84
<i>Tabel 4.6. Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) B</i>	88
<i>Tabel 4.7. Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga 1/3 A, B dan rata-rata</i>	91
<i>Tabel 4.8. Perbandingan Lendutan BTS dan (B-1/3)</i>	96
<i>Tabel 4.9. Kuat Lentur Balok Eksperimen Tanpa Sambungan rata-rata ..</i>	97
<i>Tabel 4.10. Kuat Lentur Balok Eksperimen dengan jarak sambungan</i>	

<i>beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata</i>	101
Tabel 4.11. <i>Perbandingan kuat lentur BTS dan (B-1/3)</i>	104
Tabel 4.12. <i>Kuat Geser Balok Eksperimen Tanpa Sambungan rata-rata .</i>	105
Tabel 4.13 <i>Kuat Geser Balok Eksperimen dengan jarak sambungan</i>	
<i>beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata</i>	109
Tabel 4.14. <i>Perbandingan Kuat Geser BTS dan (B-1/3)</i>	112

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1. Model Sambungan Balok</i>	<i>7</i>
<i>Gambar 2.2. Diagram tegangan regangan beton</i>	<i>10</i>
<i>Gambar 2.3. Diagram tegangan regangan baja tulangan</i>	<i>12</i>
<i>Gambar 2.4. Diagram tegangan regangan balok</i>	<i>13</i>
<i>Gambar 2.5. Diagram tegangan regangan pada kondisi balanced</i>	<i>14</i>
<i>Gambar 2.6. Distribusi tegangan whitney</i>	<i>17</i>
<i>Gambar 2.7. Lentur tulangan tunggal</i>	<i>20</i>
<i>Gambar 2.8. Diagram tegangan regangan lentur tulangan rangkap</i>	<i>21</i>
<i>Gambar 2.9. Keadaan geser murni</i>	<i>24</i>
<i>Gambar 2.10. Perilaku geser pada elemen lentur</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 2.11. Filosofi tulangan geser.....</i>	<i>27</i>
<i>Gambar 2.12. Flow chart perhitungan penulangan geser</i>	<i>30</i>
<i>Gambar 2.13. Flow chart perhitungan lendutan.....</i>	<i>31</i>
<i>Gambar 2.14. Flow chart perhitungan kuat lentur.....</i>	<i>32</i>
<i>Gambar 2.15. Flow chart perhitungan kuat geser</i>	<i>33</i>
<i>Gambar 3.1. Benda uji balok dan Selinder</i>	<i>38</i>
<i>Gambar 3.2. Benulangan pada jarak sambungan 1/3 bentang</i>	<i>38</i>
<i>Gambar 3.3. Proses pengujian lendutan</i>	<i>38</i>
<i>Gambar 3.4. Bagan alir rencana penelitian</i>	<i>39</i>
<i>Gambar 3.5. Penampang balok normal</i>	<i>44</i>
<i>Gambar 3.6. Diagram regangan dan tegangan balok normal</i>	<i>48</i>
<i>Gambar 3.7. Penampang transformasi balok normal</i>	<i>51</i>
<i>Gambar 3.8. Sketsa penempatan balok</i>	<i>55</i>

Gambar 4.1. Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan A (BTS-A).	73
Gambar 4.2. Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan B (BTS-B).	76
Gambar 4.3. Pengujian kuat lentur balok tanpa sambungan C (BTS-C).	79
Gambar 4.4. Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)A	87
Gambar 4.5. Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)	90
Gambar 4.6. Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-A	118
Gambar 4.7. Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-B	119
Gambar 4.8. Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-C	120
Gambar 4.9. Pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang A (1/3)	121
Gambar 4.10. Pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B (1/3)	122

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1. Hubungan beban – lendutan teoritis	63
Grafik 3.2. Hubungan Beban – Kuat Lentur Teoritis	66
Grafik 3.3. Hubungan Beban – Kuat Geser Teoritis	69
Grafik 4.1. Hubungan beban – lendutan (BTS-A)	72
Grafik 4.2. Hubungan beban – lendutan (BTS-B)	75
Grafik 4.3. Hubungan beban – lendutan (BTS-C)	78
Grafik 4.4. Hubungan beban – lendutan BTS A,B,C & rata-rata	81
Grafik 4.5. Hubungan Beban-Lendutan BTS rata-rata dan teoritis	82
Grafik 4.6. Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) A	86
Grafik 4.7. Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) B	89
Grafik 4.8. Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) A, B dan rata-rata.	92
Grafik 4.9. Hubungan Beban-Lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata dan teoritis	93
Grafik 4.10. Hubungan Beban-Lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis	94
Grafik 4.11. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok tanpa sambungan rata-rata	99
Grafik 4.12. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata	102

Grafik 4.13. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis	103
Grafik 4.14. Hubungan Beban – Kuat Geser balok tanpa sambungan rata-rata	107
Grafik 4.15. Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata	110
Grafik 4.16. Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis	111

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dewasa ini banyak pembangunan dan proyek-proyek besar yang dibangun serta direncanakan dengan desain yang indah dan kuat. Proyek-proyek tersebut biasanya membutuhkan suplai kebutuhan cor beton yang tidak sedikit dan terus-menerus agar pengecoran dapat diselesaikan tanpa hambatan, namun banyak juga pengecoran proyek dihentikan ditengah jalan entah karena kurangnya suplai beton cor, karena keterlambatan bahan ke lapangan, keterbatasan waktu, dana atau alasan lainnya, sehingga menimbulkan sambungan antar beton lama (beton yang mulai mengeras) dengan beton baru (pengecoran lanjutan). Sambungan tersebut dapat berakibat fatal jika tidak diperhatikan pemberhentiannya dan biasanya sambungan beton lama (yang sudah mulai mengeras) dengan beton baru hanya diberi air semen sebagai pengikat atau bahkan permukaan beton lama dikasarkan guna terjadinya pengikatan antara beton lama yang sudah mengeras dengan beton baru.

Perancangan struktur balok beton bertulang tahan gempa sesuai dengan SNI 03-2847-2002 mensyaratkan bahwa pemakaian tulangan pengekang dan tulangan longitudinal untuk mencapai daktilitas yang disyaratkan. Pendetailan khusus dalam bentuk pengekangan diberikan terutama di daerah yang mempunyai potensi terjadinya sendi plastis (pada semua ujung balok dan semua ujung kolom), sesuai dengan konsep perancangan struktur tahan gempa saat ini, terutama pada bangunan

yang didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Yaitu sistem rangka ruang dalam, dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu di zona 5 hingga zona 6. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh.

Sering sambungan antara beton lama dan beton baru pada balok dilaksanakan menggunakan bahan perekat beton. Pada penelitian ini akan dilakukan penyambungan beton lama dan beton baru tanpa menggunakan bahan perekat beton (*bond crete*), mengingat harga dari perekat beton tersebut cukup mahal dan masih langkanya bahan perekat tersebut jika pembangunan dilaksanakan di luar jawa. Sambungan tulangan longitudinal perlu diperhatikan panjang penyaluran dan pengekangan pada daerah penyambungan tersebut serta yang terpenting adalah letak atau lokasi sambungan dari beton balok dan tulangan longitudinal di sepanjang balok tersebut.

Penelitian mengenai pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok masih sangat jarang dilakukan, sehingga penulis merasa sangat perlu untuk melakukan penelitian ini, dan diharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, lembaga dan perencana serta pelaksana proyek mengenai letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok, terutama balok

beton bertulang yang dirancang sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di wilayah gempa kuat.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok pada jarak sambungan $1/3$ bentang berpengaruh terhadap lendutan?
- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok pada jarak sambungan $1/3$ bentang berpengaruh terhadap kuat lentur?
- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok pada jarak sambungan $1/3$ bentang berpengaruh terhadap kuat geser?
- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok pada jarak sambungan $1/3$ bentang berpengaruh terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok terhadap lendutan pada jarak sambungan $1/3$ bentang.
- b. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok terhadap kuat lentur pada jarak sambungan $1/3$ bentang.

- c. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok terhadap kuat geser pada jarak sambungan $\frac{1}{3}$ bentang.
- d. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang pada jarak sambungan $\frac{1}{3}$ bentang.

1.4. Ruang Lingkup Masalah

Adapun ruang lingkup masalah dari penelitian ini yang bertujuan untuk memfokuskan pada permasalahan pokok, yaitu sebagai berikut :

- a. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak $\frac{1}{3}$ bentang terhadap lendutan.
- b. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak $\frac{1}{3}$ bentang terhadap kuat lentur.
- c. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak $\frac{1}{3}$ bentang terhadap kuat geser.
- d. Pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sambungan $\frac{1}{3}$ bentang terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti :

- Sebagai prasyarat penulis untuk menempuh jenjang strata satu dan memperoleh kelulusan strata satu.
- Merupakan kesempatan yang baik untuk menerapkan teori yang ada, khususnya mengenai beton, guna menambah wawasan dan pengetahuan.
- Dapat memahami proses pembuatan beton dengan benda uji sesuai ketentuan yang berlaku.
- Memberikan gambaran umum tentang perilaku beton di lapangan jika nantinya menggunakan metode yang diteliti.

2. Bagi Lembaga Pendidikan :

Laporan hasil penelitian ini dapat menambah perbendaharaan kepustakaan, khususnya mengenai masalah beton, sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam proses akademik.

3. Bagi Perencana dan Pelaksana Proyek

Memberikan sumbangan informasi tentang pengaruh variasi sambungan terhadap kekuatan beton, sehingga dapat membantu perencana dan pelaksana proyek untuk memperkirakan kekuatan struktur suatu bangunan.

1.6. Hipotesis penelitian

Hipotesis penelitian merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan yang diajukan dalam rumusan masalah. Jawaban sementara ini masih kurang lengkap, sehingga memerlukan pengujian berdasarkan fakta empirik yang dikumpulkan. Pada penelitian ini digunakan Hipotesis alternatif (H_a), sehingga rumusan hipotesisnya adalah :

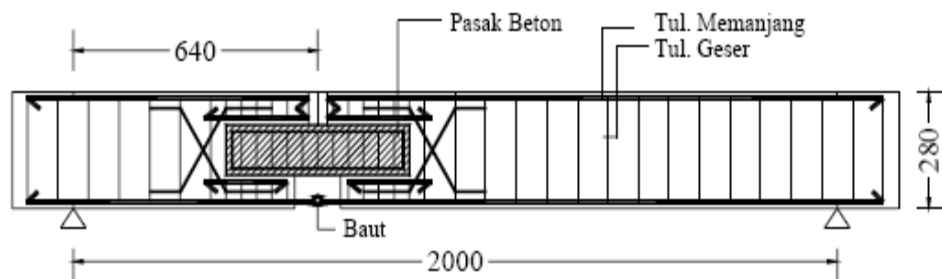
“Keterkaitan besaran geser, lentur, lendutan dan pola retak pada sambungan balok 1/3 bentang”

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Beberapa Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang meneliti tentang letak sambungan pada balok beton bertulang maupun beton pracetak yaitu Budi Setiawan (2006) dengan judul: Tinjauan Kekuatan Dan Analisis Teoritis Model Sambungan Untuk Momen Dan Geser Pada Balok Beton Bertulang, Universitas Muhammadiyah Surakarta yang menganalisa secara teoritis kekuatan dan model sambungan untuk momen dan geser balok beton bertulang. Salah satu upaya untuk mempertahankan kemampuan balok dalam mendukung beban pada bagian sambungan momen dan geser, yaitu dibuat sistem penyambungan dengan menggunakan pasak beton pada sisi tengah balok, serta menyambung bagian tulangan tariknya dengan baut, seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Model Sambungan Balok

Penelitian tentang pengaruh bahan tambahan (bond crete) antara beton lama dan beton baru pernah dilakukan oleh Arif Nurcahyo (2003) dengan judul: Penelitian

Tentang Pengaruh Bahan Tambahan (Bond Crete) Terhadap Elemen Lentur (Balok) Antara Beton Lama Dan Beton Baru Dengan Sambungan Miring, Institut Teknologi Nasional Malang, yang menganalisa tentang pengaruh penggunaan bahan tambahan (bond crete) untuk merekatkan antara beton lama dan beton baru.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian di atas adalah Penelitian ini menggunakan sambungan tulangan memanjang balok dan tulangan geser sesuai persyaratan seperti pada umumnya pelaksanaan penyambungan tulangan balok yang dilaksanakan di lapangan, tanpa menggunakan sambungan pasak kayu atau pasak beton. Penelitian ini juga menempatkan sambungan pada beberapa bagian sepanjang bentang balok yaitu $1/3$ bentang balok dengan panjang penyaluran tulangan memanjang mengikuti SNI 03-2847-2002. Serta pada daerah penyambungan beton tidak menggunakan perekat beton seperti bond crete dan fine mesh.

2.2. Pengekangan Pada Beton

Pengekangan pada beton perlu dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.3.3 agar elemen struktur balok tidak mengalami kegagalan akibat geser. Keruntuhan beton akibat beban tekan biasanya ditandai oleh adanya penambahan volume yang tidak terkontrol, dengan adanya mekanisme pembatasan gerakan yang bekerja pada beton, proses keruntuhan yang terjadi dapat diperlambat/dikontrol. Tulangan transversal sangat berperan dalam mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton, mencegah terjadinya keruntuhan geser pada balok, dan mencegah *premature*

buckling tulangan longitudinal yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas penampang balok beton bertulang. Semakin besar beban yang bekerja terhadap balok, semakin banyak pula kebutuhan tulangan transversal yang diperlukan agar struktur balok tersebut lebih kuat dan daktil.

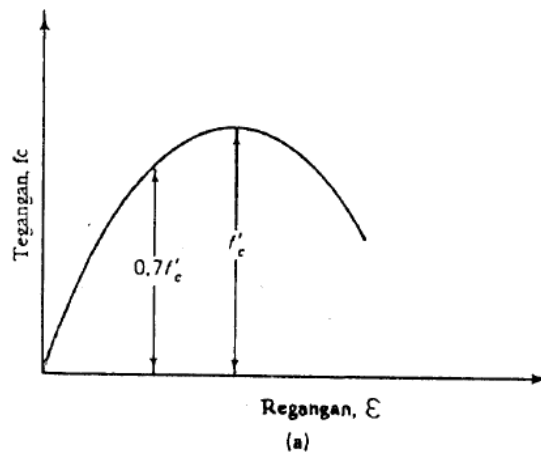
Sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada sudut-sudut sengkang, sedangkan tekanan pada sisi sengkang cenderung membengkokkan bagian ujung sengkang ke arah luar, sengkang persegi juga memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas pada beton, untuk itulah telah diadakan berbagai modifikasi bentuk sengkang persegi dengan berbagai macam pola pengekangan.

2.3. Metoda Perencanaan

Setelah itu dikembangkan metode kekuatan batas (Metoda Ultimate) dengan anggapan (1) Bidang penampang rata sebelum terjadinya lentur tetap rata setelah terjadinya lentur dan tetap berkedudukan tegak lurus pada sumbu bujur balok, oleh karena itu nilai regangan dalam penampang komponen struktur terdistribusi linier atau sebanding lurus terhadap jarak ke garis netral, (2) tegangan sebanding dengan regangan pada kondisi tegangan beton tekan $1/2f_c'$, apabila beban terus meningkat, tegangan yang terjadi tidak linier dengan regangan, (3) dalam perhitungan kapasitas momen ultimate kuat tarik beton diabaikan dan seluruh gaya tarik dibebankan seluruhnya kepada tulangan tarik.

2.4. Kuat Beton terhadap gaya tekan

Dalam kaitan terhadap metoda perencanaan sebenarnya adalah berkaitan dengan asumsi-asumsi yang dipergunakan sesuai dengan pembahasan diatas. Untuk bahan beton perhatian sebenarnya terutama dipusatkan kepada persoalan bagaimanakah perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban diantaranya ialah gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntiran ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut tergantung pada hubungan tegangan regangan yang terjadi di dalam beton seperti tampak pada gambar 2.2.



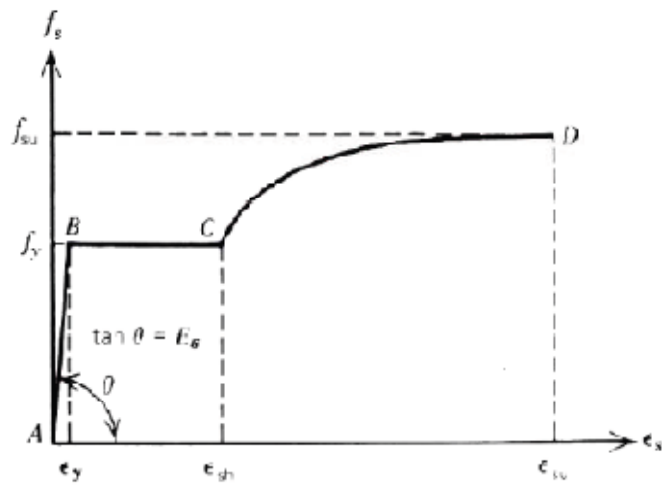
Gambar 2.2. Diagram tegangan regangan beton

Karena sifat bahan beton yang hanya mempunyai nilai kuat tarik relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan bekerja dengan baik di daerah tekan pada penampangnya, dan hubungan tegangan regangan yang timbul karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 (MPa). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai 10-65 MPa. Untuk Struktur Beton Bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan untuk beton prategang dipergunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar 30-45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan khusus, beton ready mix sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dengan pengawasan cukup ketat di laboratorium.

2.5. Baja Tulangan

Didalam kaitan dengan struktur beton bertulang maka sifat fisik baja tulangan yang paling penting untuk dipergunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh (f_y) dan Modulus Elastisitas (E_s). Suatu hubungan tegangan regangan baja tulangan dapat dilihat pada gambar 2.3. Tegangan Leleh dalam hal ini didefinisikan sebagai tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

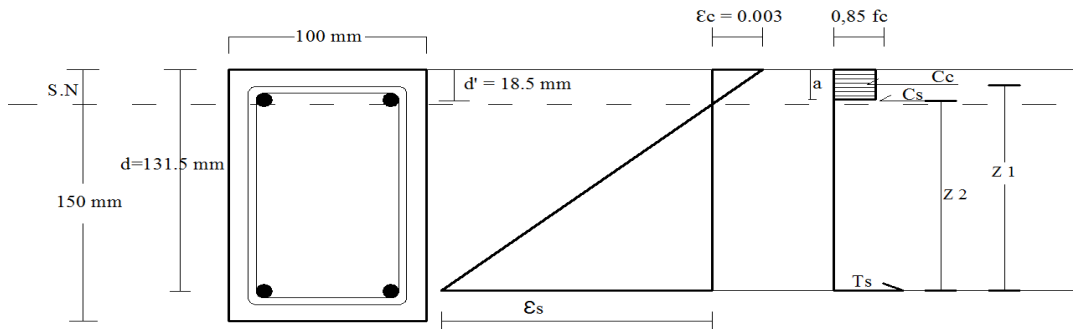


Gambar 2.3. Diagram tegangan regangan baja tulangan

2.6. Prinsip-Prinsip Perencanaan

1. Pada dasarnya didalam perencanaan komponen struktur yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus dipenuhi ketentuan yang tertera di dalam SNI 03-2847-2002 pasal 20.7.

Perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas tegangan dan regangan dengan menggunakan rumus SNI 03-2847-2002 pasal 20.7.4



Gambar 2.4. Diagram tegangan regangan balok

2. Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang ditentukan f_y pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas asumsi 0,003
3. Untuk komponen struktur lentur, dan untuk komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kuat rencana ϕP_n kurang dari nilai yang terkecil antara $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ dan ρP_b rasio tulangan yang ada tidak boleh melampaui $0,75 \rho_b$ yang menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk penampang yang mengalami lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamakan dengan tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan factor 0,75
4. Peningkatan kekuatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan.

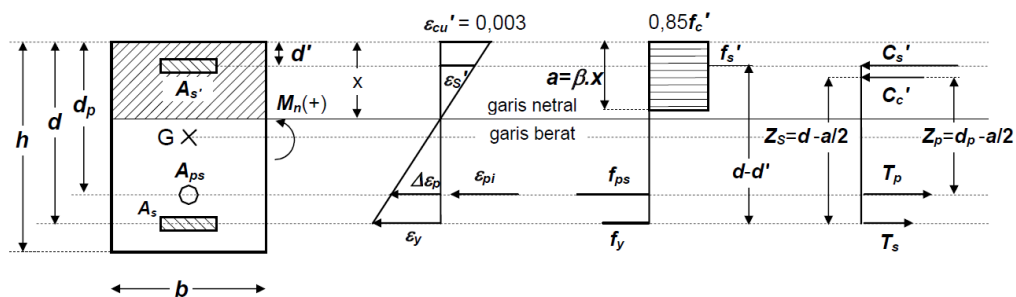
Kondisi perencanaan sendiri dibagi atas beberapa bagian :

- a. **Kondisi balanced** ($\epsilon_s = \epsilon_y$, $A_s = A_{sb}$, $\rho = \rho_b$, $f_s = f_y$, $\epsilon_{cu} = 0,003$)

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/E_s$.

Apabila akan dilakukan perencanaan struktur dengan kondisi balanced mempunyai pengertian bahwa tegangan baja yang terjadi sama dengan tegangan lelehnya atau dengan kata lain baja tarik (tulangan tarik) tepat mencapai tegangan leleh. Untuk menjadikan kondisi tersebut maka penulangan terpasang ρ pada struktur rencana sedemikian rupa direncanakan sama dengan ρ balanced dengan x rencana juga sebesar x balanced. Dengan kata lain juga bisa disampaikan bahwa struktur yang direncanakan dalam kondisi balanced akan menjadikan lelehnya tulangan tarik bersamaan dengan hancurnya beton.

$$x_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{200.000}} \cdot (d) = \frac{600}{600 + f_y} (d)$$



Gambar 2.5. Diagram tegangan regangan pada kondisi balanced

$$\Leftrightarrow \frac{\varepsilon_s}{(d - xb)} = \frac{0,003}{xb}$$

$$\Leftrightarrow \varepsilon_s = 0,003 \frac{(d - xb)}{xb}$$

$$\Leftrightarrow f_s = 600 \frac{(d - xb)}{xb}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\varepsilon_y}{0,003} = \frac{(d - xb)}{xb}$$

$$\Leftrightarrow \varepsilon_y = 0,003 \left(\frac{d}{xb} - 1 \right)$$

$$\Leftrightarrow \frac{0,003d}{xb} = \varepsilon_y + 0,003$$

$$\Leftrightarrow xb = \frac{0,003d}{\varepsilon_y + 0,003} \cdot \frac{Es}{Es}$$

$$\Leftrightarrow xb = \frac{600}{f_y + 600} \cdot d$$

$$\Leftrightarrow ab = \beta_1 \cdot xb$$

$$\Leftrightarrow ab = \beta_1 \cdot \left\{ \frac{600}{600 + f_y} d \right\}$$

$$\Leftrightarrow 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot ab = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$\Leftrightarrow \rho b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

dengan ketentuan :

$$\beta_1 = 0,85 \qquad f_c' \leq 30 \text{Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 \cdot \frac{0,005}{7} \cdot (f_c' - 30) \qquad f_c' > 30 \text{Mpa}$$

b. **Kondisi Under Reinforced** ($f_s > f_y$, $A_s < A_{sb}$, $f_s = f_y$, $\epsilon_{cu} = 0,003$)

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan tarik. Tulangan ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan (ϵ_s) diatas regangan leleh (ϵ_y).

Untuk perencanaan pada kondisi undereinforced sedemikian rupa dibuat prencana lebih kecil dari $\rho_{balanced}$, dengan ρ pasang lebih kecil dari $\rho_{balanced}$ sehingga jumlah tulangan relatif sedikit sehingga tulangan akan meleleh sebelum beton hancur, yang menghasilkan suatu ragam keruntuhan daktail (ductile) dengan deormasi besar.

c. **Kondisi Over Reinforced** ($f_s < f_y$, $A_s > A_{sb}$, $f_s = f_y$, $\epsilon_{cu} = 0,003$)

Kehancuran ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja (ϵ_s) yang terjadi masih lebih kecil dari pada regangan lelehnya (ϵ_y)

Pada kondisi ini tulangan terpasang relatif banyak yang akan menyebabkan tulangan untuk tetap berada pada kondisi elastis pada saat terjadinya kehancuran beton, yang menghasilkan ragam keruntuhan getas (brittle).

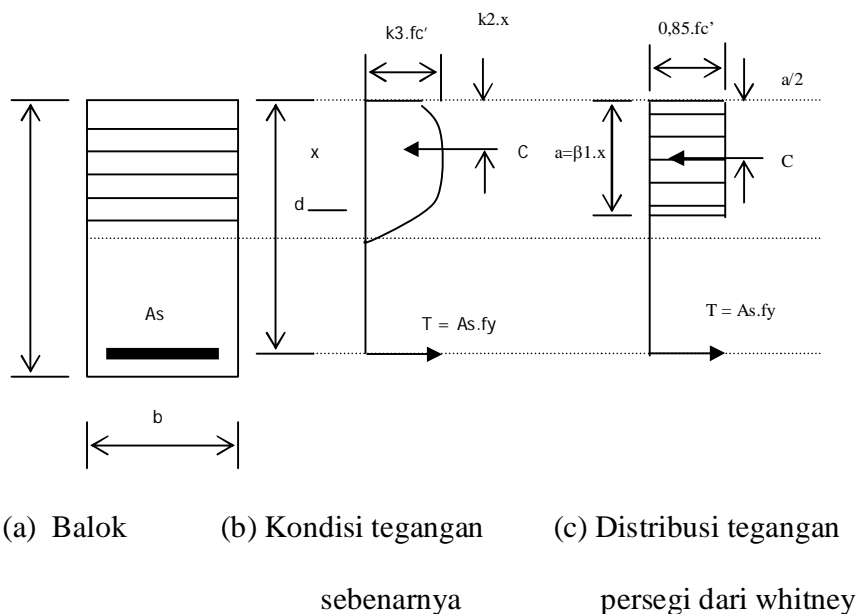
2.7. Dasar Teori Analisa Lentur Penampang Persegi

Sebagaimana diketahui bahwa metode perencanaan yang dipakai saat ini khususnya yang dituangkan didalam Peraturan beton (SNI 03-2847-2002). Secara mendasar metode kekuatan batas disini adalah dengan jalan mengalikan beban kerja

dengan faktor tertentu (λ) untuk mencakup kemungkinan pelampauan beban dan variasi dari pemisalan yang digunakan didalam perencanaan. Kekuatan rencana (Kekuatan ultimit) dari suatu penampang diperoleh dengan jalan mengalikan kekuatan nominal dengan suatu faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk memperhitungkan variasi yang merugikan dari kekuatan bahan, pengerjaan, dimensi, pengendalian dan tingkat pengawasan, sekalipun semuanya masih dalam batas toleransi yang dapat diterima.

2.8. Distribusi Tegangan Persegi dari Whitney

Pada tahun 1930-an Whitney menyarankan penggunaan dari suatu distribusi tegangan tekan pengganti yang berbentuk persegi yang lebih sederhana dari distribusi tegangan sebelumnya yang berbentuk parabola.



Gambar 2.6. Distribusi tegangan whitney

Seperti tercantum pada gambar 2.7 dipakai tegangan persegi dengan besar rata-rata $0,85.f_c'$ dengan tinggi $a = \beta_1.x$, sedemikian hingga $a/2 = k_2.x$. Menurut ACI 318-83M besarnya β_1 ditetapkan sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} \cdot (f_c' - 30) \quad \text{untuk } f_c' > 30 \text{ MPa}$$

tetapi nilai β_1 tidak boleh diambil kurang dari pada 0,65 (ACI 10.2.7.3)

Dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen, kekuatan lentur M_n dapat diperoleh dengan menggunakan gambar 2.6 sebagai berikut :

$$C = 0,85.f_c'.b.a$$

$$T = A_s.f_y$$

dengan menggunakan prinsip keseimbangan dengan memisalkan tulangan mencapai leleh sebelum hancurnya beton maka didapatkan

$$a = \frac{A_s.f_y}{0,85.f_c'.b}$$

$$M_n = A_s.f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = A_s.f_y \cdot \left(d - 0,59 \frac{A_s.f_y}{f_c'.b} \right)$$

2.9. Lentur Tulangan Tunggal

Pada dasarnya lentur tulangan tunggal memiliki pengertian tulangan terpasang hanya pada daerah yang mengalami tarik sedangkan pada daerah yang mengalami tekan hanya dipasang tulangan praktis. Penerapan lentur tulangan tunggal bisa pada elemen balok bisa juga untuk elemen pelat.

Persamaan kekuatan momen tulangan tunggal mengacu terhadap gambar 2.8 adalah sebagai berikut :

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$C_c' = T$$

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } C_c' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

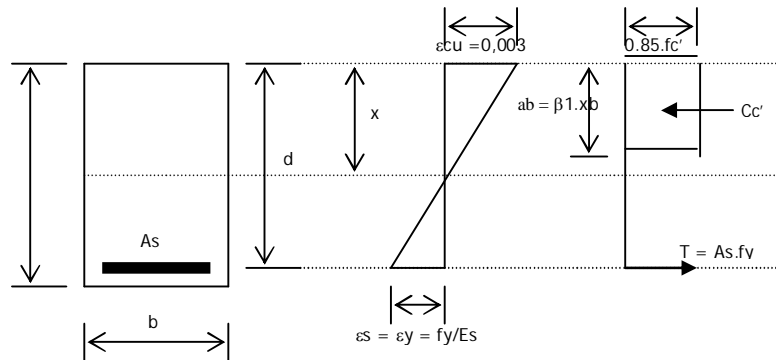
$$a = \rho \cdot \left(\frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \cdot d$$

$$M_n = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \cdot d \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m \right)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$



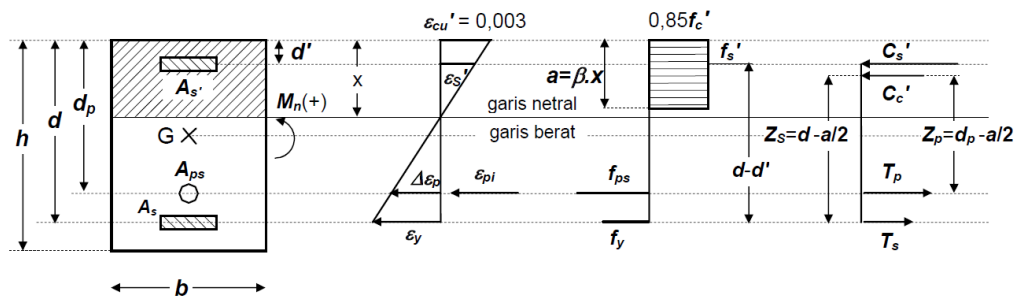
Gambar 2.7. Lentur tulangan tunggal

C_c' dalam hal ini merupakan gaya yang disebabkan oleh bagian beton yang mengalami tekan, T adalah gaya yang ditimbulkan akibat adanya tulangan tarik terpasang sedangkan a merupakan tinggi blok tertekan untuk elemen beton yang mengalami tekan.

2.10. Lentur Tulangan Rangkap

Definisi : Lentur tulangan rangkap merupakan salah satu metode atau cara perencanaan tulangan lentur yang mana kemampuan penampang untuk memikul lentur merupakan kombinasi dari tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s') dikalikan lengannya.

Adapun langkahnya bisa dilakukan dengan melakukan coba-coba garis netral (x) sampai dengan tulangan tarik sudah tidak mampu lagi untuk memikul momen akibat beban luar, sehingga diperlukan adanya tulangan tekan.



(a) Penampang tulangan rangkap (b) Diagram regangan (c) Diagram tegangan (d) Diagram tegangan

Gambar 2.8. Diagram tegangan regangan lentur tulangan rangkap

Di dalam perencanaan tulangan rangkap ini pada prinsipnya penampang beton yang tertekan dibuat sekecil mungkin dengan cara membuat posisi garis netral yang letaknya lebih mendekati pada tulangan tekan atau A_s' dengan tetap memperhatikan komposisi tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s')

Seperti terlihat pada gambar 2.9. (c) sebenarnya merupakan komponen tegangan tulangan tunggal dengan komponen beton tertekan C_c' dan komponen tulangan tarik T_1 dengan tetap memperhatikan prinsip keseimbangan bahwa C_c' sama dengan T_1 atau dalam arti lain dapat dituliskan persamaan matematikanya sebagai berikut :

$$C_c' = T_1$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y$$

adapun kemampuan penampang untuk memikul momen tulangan tunggal

$$Mn_1 = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Apabila ternyata kemampuan penampang tulangan tunggal tidak mampu memikul momen yang terjadi yang diakibatkan beban luar dan beban dirinya sendiri maka diperlukan bantuan tulangan tekan seperti terlihat pada gambar 2.9 (d). Dalam hal ini juga berlaku prinsip keseimbangan yang mana Cs' sama dengan T_2 atau dapat dituliskan

$$Cs' = T_2$$

apabila tulangan tekan leleh maka,

$$As'.fy = Ass.fy$$

kemampuan pikul momen bila tulangan tekan leleh,

$$Mn_2 = Ass.fy(d - d'')$$

apabila tulangan tekan tidak leleh maka,

$$As'.fs' = Ass.fy$$

kemampuan pikul terhadap momen bila tulangan tekan tidak leleh,

$$Mn_2 = Ass.fs'(d - d'')$$

Kemampuan total penampang yang direncanakan tulangan rangkap untuk memikul momen merupakan penjumlahan kemampuan momen akibat penampang beton tertekan Cc' dengan akibat tulangan tekan Cs' sehingga,

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

Adapun tinggi blok beton tertekan bisa diperoleh dengan,

$$C = T$$

$$C = Cc' + Cs'$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$a = \frac{(As - As')fy}{0,85.fc'b}$$

atau,

$$a = \frac{As.fy - As'.fs'}{0,85.fc'b}$$

Adapun langkah perencanaan tulangan rangkap sebagai berikut:

1. Ambil suatu harga $x \leq 0,75 Xb$

$$xb = \frac{600}{600 + fy} . d$$

2. Ambil Asc berdasarkan x Rencana

$$Asc = \frac{0,85.\beta_1.fc'b.x}{fy}$$

3. Hitung Mnc

$$Mnc = Asc.fy \left(d - \frac{\beta_1.x}{2} \right)$$

4. Hitung Mn – Mnc

Apabila : $Mn - Mnc > 0$ Perlu tulangan tekan

$Mn - Mnc \leq 0$ Tidak perlu tulangan tekan

5. Bila perlu tulangan tekan maka

$$Cs' = T_2 = \frac{Mn - Mnc}{(d - d'')}$$

6. Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) 600 \geq f_y \quad \text{leleh } f_s' = f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) 600 < f_y \quad \text{tidak leleh } f_s' = f_s'$$

7. Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$A_s' = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85 \cdot f_c')} \quad A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

8. Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

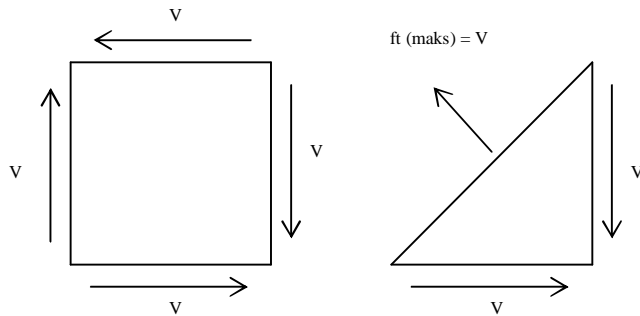
$$A_s' = A_s'$$

9. Kontrol kekuatan

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

2.11. Kekuatan Geser Dan Tulangan Geser

Salah satu jenis keruntuhan yang kemungkinan terjadi pada elemen struktur adalah keruntuhan geser (*Shear Failure*) yang dalam hal ini keruntuhan geser didefinisikan sebagai keruntuhan tarik di arah retak miring. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser dan pembentukan dari retak miring adalah begitu banyak dan rumit sehingga suatu kesimpulan yang pasti mengenai mekanisme yang betul dari retak miring akibat geser yang tinggi, sangat sukar untuk ditetapkan. Bresler dan MagGregor memperkenalkan hubungan yang sistematis mengenai konsep geser vertikal dan horisontal dan kemungkinan terjadinya retak miring dan variabel-variabel yang mempengaruhi geser

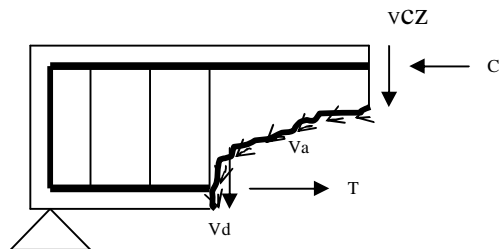
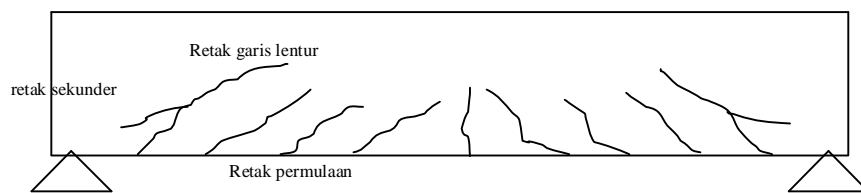


Gambar 2.9. Keadaan geser murni

(yakni tidak ada tegangan tekan atau tarik pada muka elemen)

2.12. Perilaku balok akibat gaya geser

Untuk kasus balok akibat adanya tegangan geser yang tinggi akan mengakibatkan terjadinya retak miring. Untuk mencegah pembentukan retak miring digunakan penulangan transversal yang dikenal dengan penulangan geser, yang berbentuk sengkang tertutup atau yang berbentuk U di arah vertikal atau miring untuk menutupi penulangan memanjang utama di sekeliling muka balok.



V_{cz} = tahanan geser

V_a = gaya saling ikat agregat (geser permukaan)

V_d = gaya pasak

Gambar 2.10 Perilaku geser pada elemen lentur

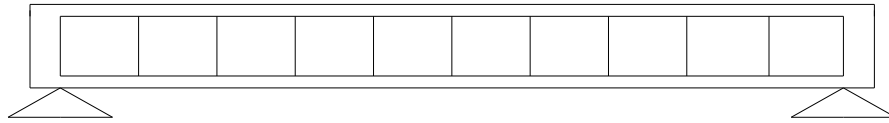
Perlawanan geser setelah terjadi retak miring :

1. Perlawanan geser beton yang belum retak, V_{cz}
2. Gaya ikat (interlock) antara agregat atau tranfer geser antar permukaan
3. Aksi pasak (dowel action), V_d
4. Aksi pelengkung (arch action) -> Khusus balok tinggi
5. Perlawanan tulangan geser, V_s (bila ada)

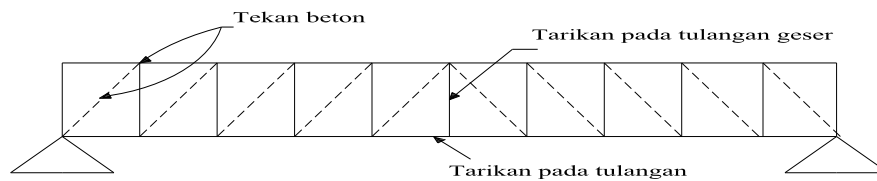
Adapun fungsi tulangan geser (sengkang/begel) adalah :

1. Memikul sebagian gaya geser, V_s
2. Melawan pertumbuhan geser miring dan ikut menjaga terpeliharanya lekatan/geseran antara agregat
3. Mengikat batang tulangan memanjang untuk tetap di posisinya
4. Aksi pasak pada beton dan aksi ikan (confinement) sengkang meningkatkan kekuatan.

(a) Balok dengan sengkang



(b) Aksi rangka batang dalam beton



Gambar 2.11. Filosofi tulangan geser

Kekuatan geser Nominal beton bertulang V_n pada dasarnya merupakan kombinasi kekuatan antara geser yang mampu dipikul beton V_c dengan kekuatan geser yang mampu dipikul oleh baja tulangan V_s atau dalam persamaan dapat dituliskan :

$$V_n = V_c + V_s$$

dalam hal ini besarnya V_c adalah,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d$$

bila dihitung lebih rinci nilai V_c ,

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \right] \cdot b \cdot w \cdot d \leq 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d$$

dimana :

$$\rho_w = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad ; \quad \frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1$$

apabila pada suatu elemen struktur bekerja gaya geser, lentur dan tekan atau dengan kata lain disebut balok kemampuan geser yang mampu dipikul beton balok adalah,

$$V_c = 2 \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} . b_w . d$$

bila dihitung lebih rinci nilai V_c ,

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u . d}{M_m} \right) \right] b_w . d \leq 0,3 \sqrt{f_c'} b_w . d \sqrt{1 + \frac{0,3 . Nu}{A_g}}$$

dimana :

$$M_m = M_u - Nu \cdot \left(\frac{4h - d}{8} \right)$$

Adapun tulangan geser minimum yang harus terpasang,

$$A_v(\min) = \frac{b_w . S}{3 . f_y}$$

sedangkan gaya geser minimum yang harus dimiliki oleh tulangan geser,

$$V_s(\min) = \frac{1}{3} . b_w . d$$

2.13. Persyaratan perencanaan tulangan geser

Perencanaan tulangan geser pada dasarnya dibagi atas beberapa kondisi sebagai berikut :

1. $V_u \leq 0,5 . \phi . V_c$ (Tidak perlu tulangan geser menurut teori)
2. $0,5 . \phi . V_c < V_u \leq \phi . V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$A_v(\min) = \frac{b_w . S}{3 . f_y} ; V_s(\min) = \frac{1}{3} . b_w . d$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600mm$$

3. $\phi.V_c < V_u \leq \phi(V_c + V_s \text{ min})$ (Tulangan geser minimum)

$$A_v(\text{min}) = \frac{b_w.S}{3.f_y} ; V_s(\text{min}) = \frac{1}{3}.b_w.d$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600mm$$

4. $\phi(V_c + V_s \text{ min}) < V_u \leq \phi\left(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d\right)$ (Perlu tulangan geser)

$$\phi.V_{s\text{perlu}} = V_u - \phi.V_c ; V_s = \frac{A_v.f_y.d}{S}$$

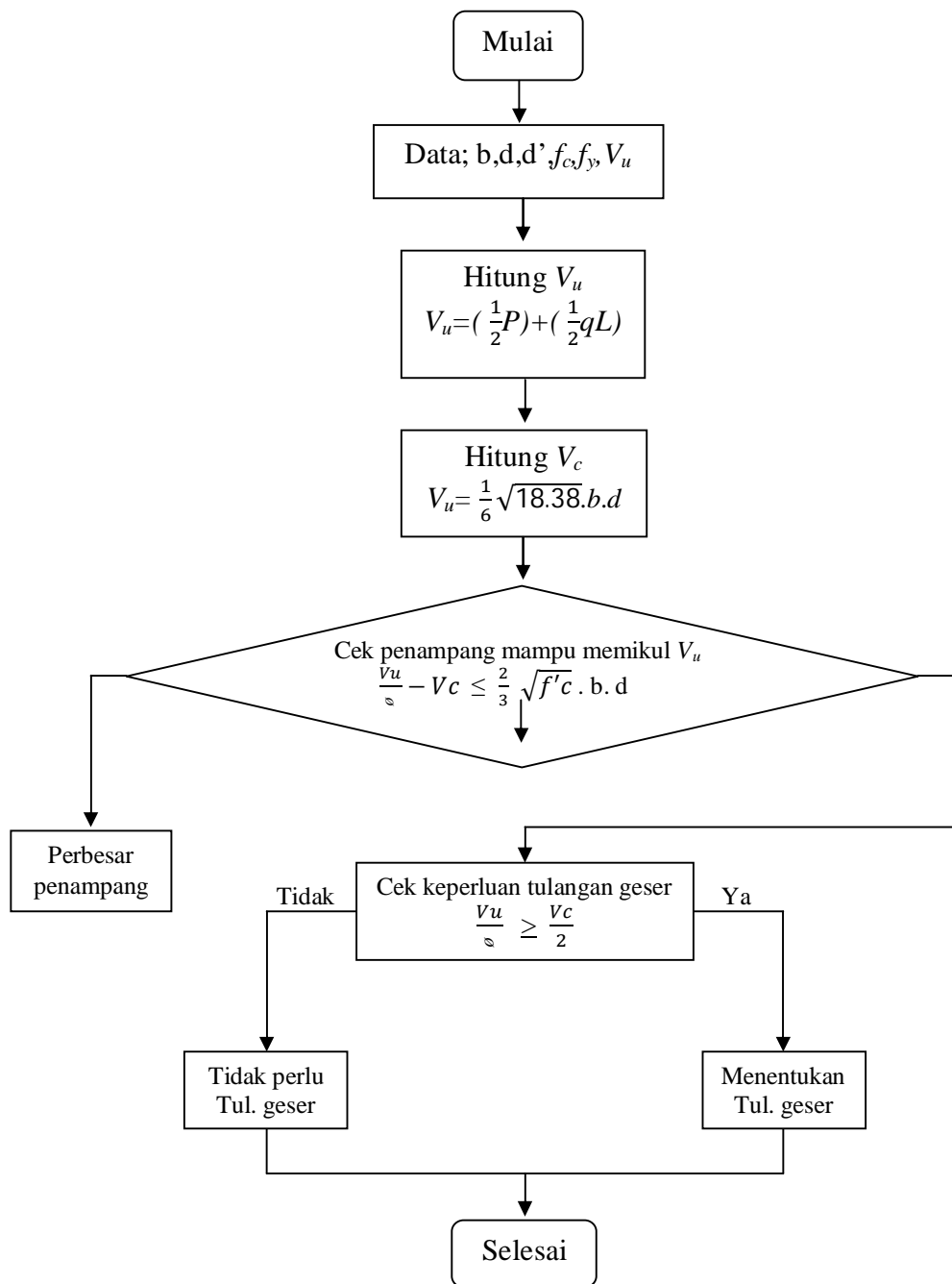
$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600mm$$

5. $\phi\left(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d\right) < V_u \leq \phi\left(V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d\right)$ (Perlu tulangan geser)

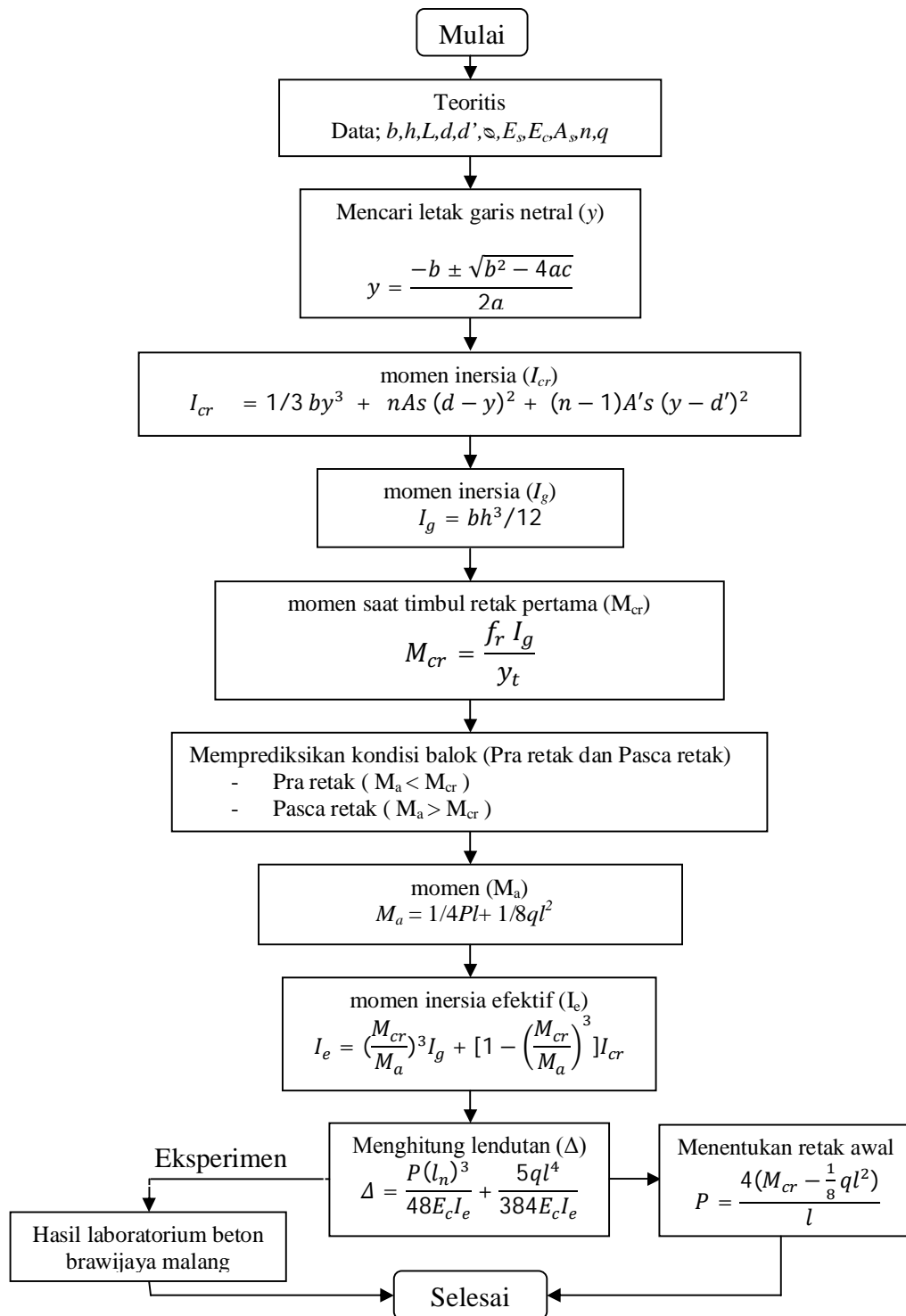
$$\phi.V_{\text{perlu}} = V_u - \phi.V_c ; V_s = \frac{A_v.f_y.d}{S}$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{4} ; S_{maks} \leq 300mm$$

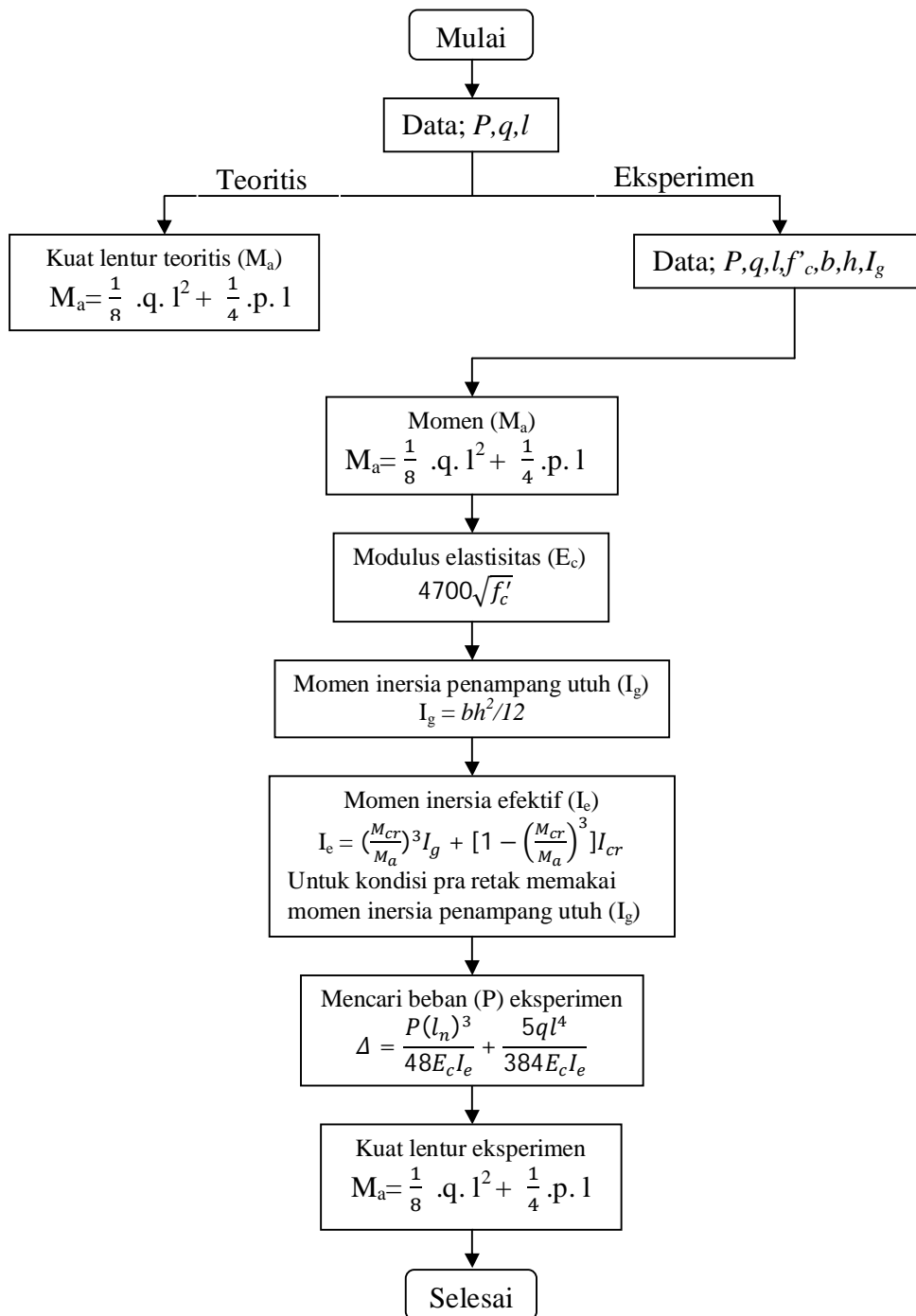
6. $V_s > \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d$ (Perbesar penampang)



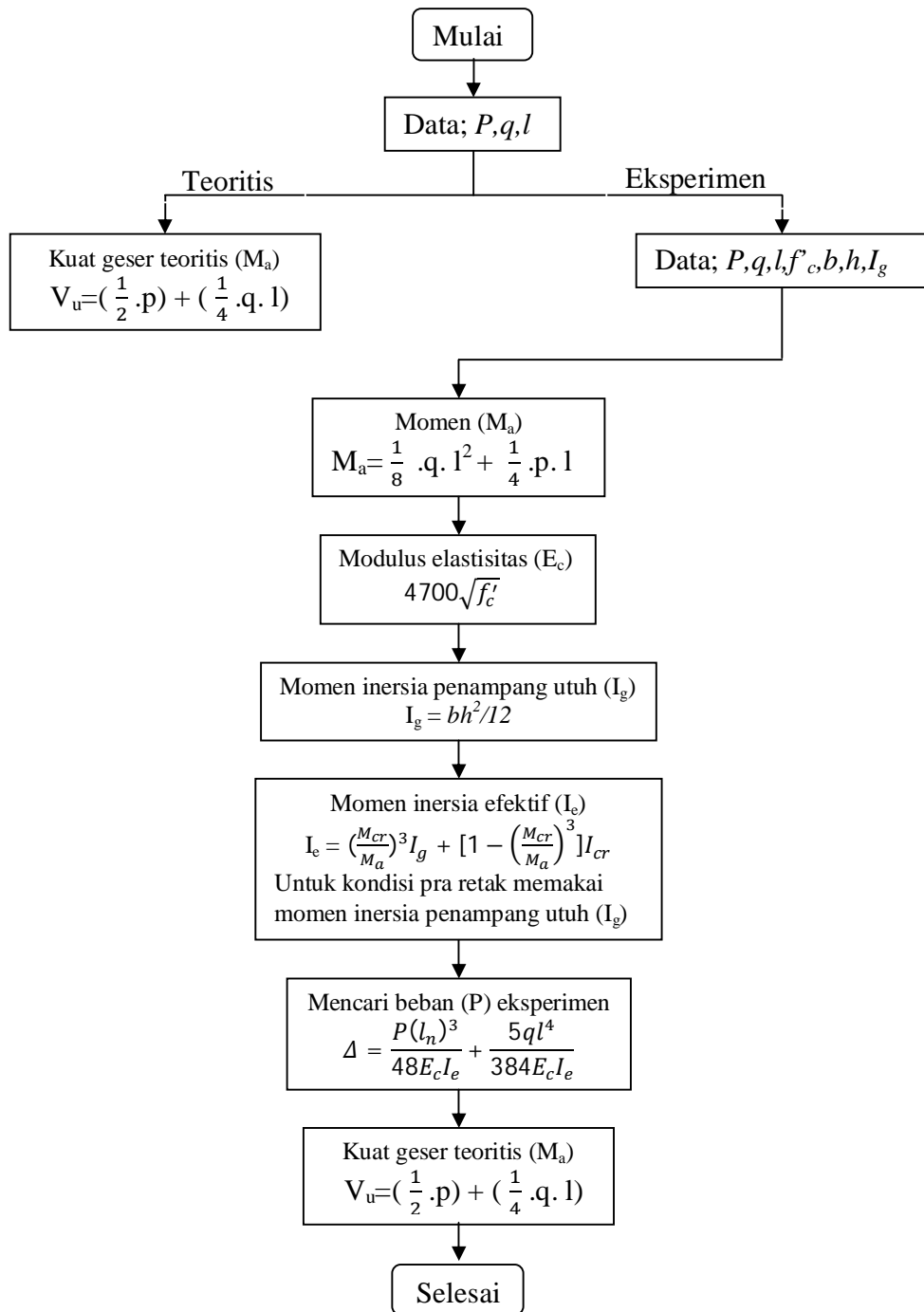
Gambar 2.12. Flow chart perhitungan penulangan geser



Gambar 2.13. flow chart perhitungan lendutan



Gambar 2.14. flow chart perhitungan kuat lentur



Gambar 2.15. flow chart perhitungan kuat geser

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Parameter Penelitian

Parameter perancangan yang telah dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Balok persegi dengan penampang $b = 100$ mm dan $h = 150$ mm
- b. Panjang balok $L = 2000$ mm
- c. Selimut beton balok = 10 mm.
- d. Kuat tekan beton $f'_c = 18.38$ MPa.
- e. Tulangan geser balok $\varnothing 4,5$ mm
- f. Tulangan longitudinal balok $\varnothing 8$ mm
- g. Pengujian kuat lentur, kuat geser, dan lendutan yang dilakukan pada beton umur 28 hari.
- h. Jarak sengkang disesuaikan dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3 :
Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi (a) **d.4**, (b) delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, (c) 24 kali diameter bentang tulangan sengkang tertutup, dan (d) 300 mm.

3.2. Model Analisa

Model analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Analisa lendutan balok beton bertulang yang tidak disambung.
- b. Analisa lendutan balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 bentang" balok dari tumpuan kiri.
- c. Analisa perilaku pola retak dan jenis keruntuhan balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 bentang" balok dari tumpuan kiri.
- d. Analisa kuat lentur balok beton bertulang yang tidak disambung.
- e. Analisa kuat lentur balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 bentang" balok dari tumpuan kiri.
- f. Analisa kuat geser balok beton bertulang yang tidak disambung.
- g. Analisa kuat geser balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 bentang" balok dari tumpuan kiri.

3.3. Pengujian di Laboratorium

3.3.1. Spesifikasi Material

Kuat tekan beton diperoleh dengan melakukan pengujian silinder beton berukuran 150 x 300 mm sebanyak 25 buah yang telah berumur 28 hari.

3.3.2. Benda Uji

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian benda uji silinder beton berukuran 150 x 300 mm, berumur 28 hari dan jumlah benda uji silinder beton sebanyak 25

buah. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat lentur balok dan kuat geser balok berukuran 100 x 150 x 2000 mm sebanyak 15 buah.

3.3.3. Tempat Pengujian Silinder dan Balok

Untuk menguji kuat lentur dan geser balok menggunakan alat pengujian kuat lentur yang ada di laboratorium beton program studi teknik sipil ITN Malang dan laboratorium beton program studi teknik sipil Universitas Brawijaya.

3.3.4. Alat dan Bahan Pengujian

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Semen: Semen Gresik
 2. Agregat halus (pasir): Pasir Lumajang
 3. Agregat kasar (kerikil): batu pecah
 4. Air: PDAM kota Malang
- b. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Seperangkat saringan
 2. Peralatan slump tes
 3. Timbangan kapasitas 20 kg dengan ketelitian 0,1 gram (heavy duty solution balance)
 4. Timbangan kapasitas 2610 gram dengan ketelitian 0,1 gram (triple beam balance)

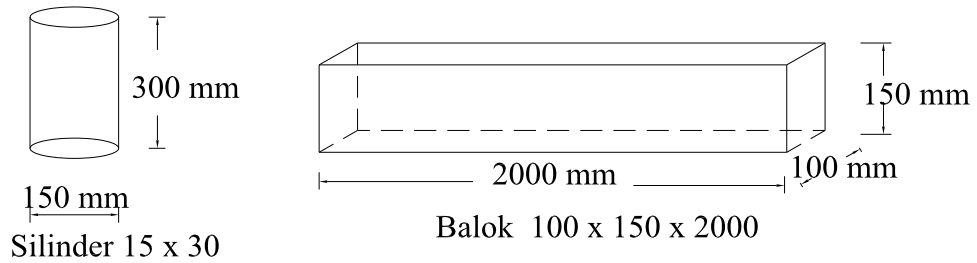
5. Neraca
6. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu
7. Cetakan persegi panjang dengan ukuran 100 x 150 x 2000 mm
8. Cetakan cilinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm
9. Sekop
10. Talam dan cawan logam
11. Gelas ukur 1000 ml
12. Mesin abrasi los angeles
13. Mesin pengaduk beton dengan kapasitas 0,05 m³
14. Alat uji tekan beton dengan kapasitas 2000 kN (compressive machine test)
15. Alat uji tarik lentur
16. Mistar perata (straight edge)
17. Piknometer kapasitas 500 ml
18. Bak air untuk perendaman perawatan beton (moist curing)
19. Sikat baja halus
20. Termometer

3.4. Populasi dan Sample

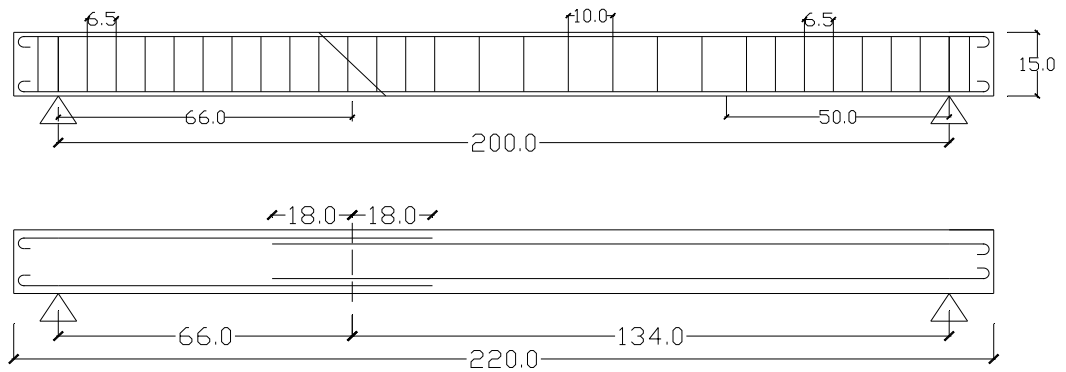
Populasi dan jumlah sample penelitian terdiri ;

1. Untuk benda uji silinder dibuat 5 buah saat pengecoran balok.
2. Benda uji balok bertulang tanpa disambung dibuat 2 buah benda uji dengan ukuran 100 x 150 mm
3. Ukuran sambungan balok 1/3 bentang dibuat sebanyak 2 buah benda uji.

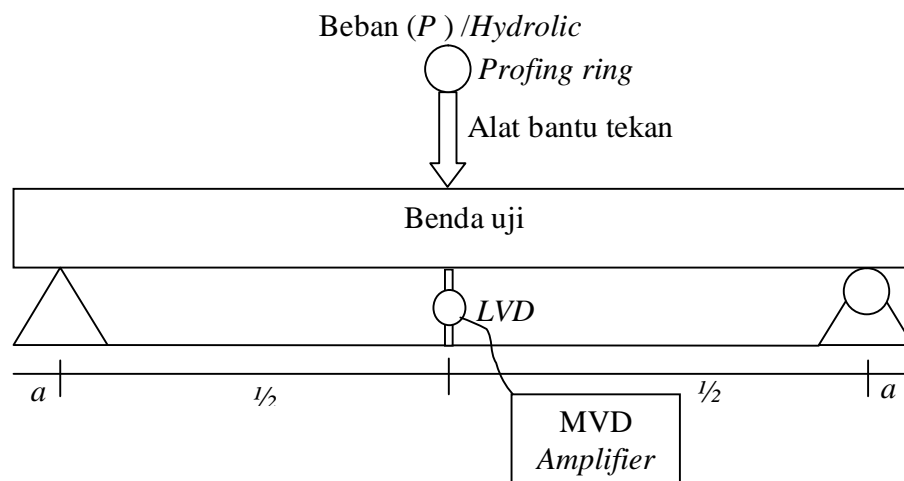
Gambar 3.1 benda uji balok dan Selinder



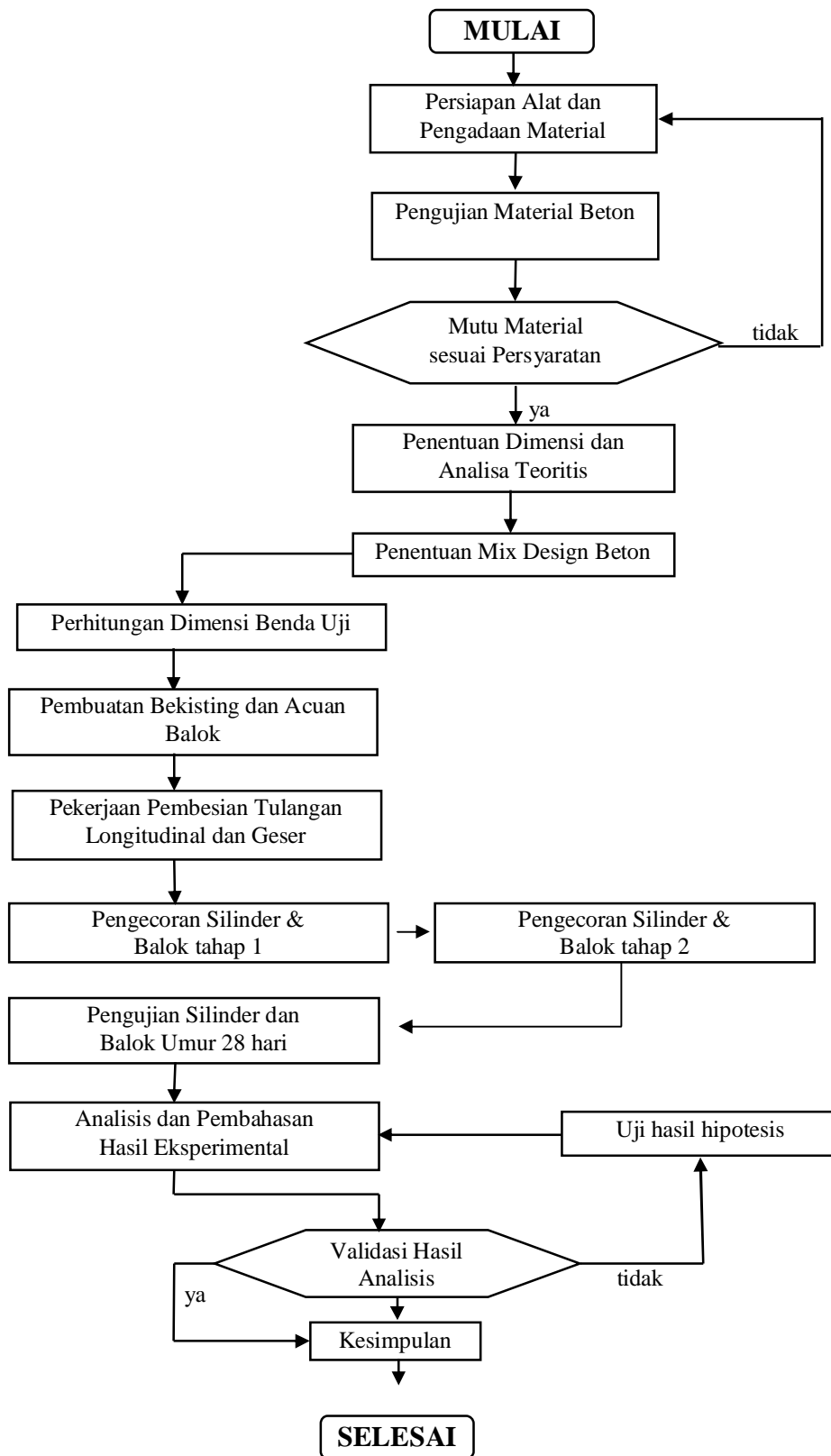
Gambar 3.2 penulangan pada jarak sambungan 1/3 bentang



Gambar 3.3 proses pengujian lendutan



Gambar 3.4 Bagan alir rencana penelitian



3.5. Umum

Data hasil penelitian dibagi menjadi tiga bagian sebagai berikut :

1. Analisis hasil laboratorium.

Yang terdiri dari ;

- a. Campuran beton
- b. Kuat tekan beton
- c. Kuat tarik baja

2. Analisis teoritis

Yang terdiri dari ;

- a. Kontrol momen
- b. Perhitungan beban

3. Analisis eksperimen

- a. Lendutan
- b. Kuat lentur
- c. Kuat geser
- d. Perilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang.

3.6. Analisis Hasil Laboratorium

3.6.1. Campuran beton

Kuat tekan beton mutu normal direncanakan sebesar $f'c = 18,38$ Mpa dengan pengadukan menggunakan molen, mix desain diperhitungkan menggunakan SNI 03-2847-2002, S-2002, SNI DT-91-0008-2007 dan ACI - MCP 211.1-91 – 2005 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal.

Dengan menggunakan material Semen Gresik tipe PPC, pasir dari lumajang, kerikil dan air. Hasil perancangan campuran beton untuk 1 m³ dengan komposisi material seperti terlihat pada tabel 3.1. Hasil perancangan campuran beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 3.1 Proporsi campuran beton hasil mix design

No	Material	Volume	Satuan
1	Air	193	Kg/m ³
2	Semen	332,8	Kg/m ³
3	Agregat Kasar	953,4	Kg/m ³
4	Agregat halus	900,8	Kg/m ³

3.6.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standar SNI 03-1974-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Mechine (UTM)*. Untuk mendapatkan kuat tekan beton ($f'c$) yang dipakai dalam menganalisa data eksperimen, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder berumur 28 hari, dengan rincian ; 1 silinder untuk 1 balok tanpa sambungan (ada 3 balok) dan 5 silinder untuk 2 balok sambungan. Total ada 8 buah silinder. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh dengan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Kode	Berat	Tinggi	Diameter	Luas silinder	Beban Max	Kuat tekan
	silinder	(Kg)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N)	(Mpa)
1	Polos 1	12,33	300	150	17678.571	350000	19,80
2	Polos 2	12,06	300	150	17678.571	320000	18,10
3	Polos 3	12,66	300	150	17678.571	305000	17,25
4	Rata - rata						18,38
5	1 per 3	11,67	300	150	17678.571	310000	17,54
6	1 per 3	11,61	300	150	17678.571	355000	20,08
7	1 per 3	12,52	300	150	17678.571	305000	17,25
8	Rata - rata						18,29
9	1 per 3	12,14	300	150	17678.571	315000	17,28
10	1 per 3	12,14	300	150	17678.571	330000	18,67
11	Rata - rata						18,24

3.6.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja

Berdasarkan pengujian kuat tarik baja yang telah dilakukan, diperoleh data – data sebagai berikut :

Tabel 3.3 Pemeriksaan mutu baja

no	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 4,5	(mm ²)	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	4,5 mm	15,9	8761,2	510,509	550,87	27,733
2	4,5 mm	15,9	8903,3	540,394	559,80	17,689
3	Rata - rata		8832,3	525,452	555,34	22,711

no	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 8	(mm ²)	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	8mm	50,27	29591,1	408,256	588,696	144,533
2	8mm	50,27	25891,6	334,95	515,097	144
3	Rata - rata		27741,4	371,603	551,897	144,267

3.7. Analisis Teoritis

Data yang kami perhitungkan diperoleh dari hasil eksperimen awal yang berupa kuat tarik baja dan kuat tekan beton yang diperoleh dari benda uji silinder setiap balok.

Data benda uji :

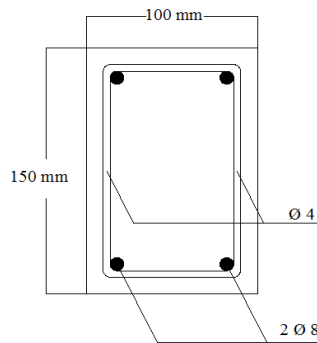
- Tipe : Beton bertulang
- Dimensi : 100 mm x 150 mm x 2000 mm
- Mutu beton ($f'c$) : 18.38 Mpa (hasil kuat tekan)
- Mutu baja \varnothing 8 (f_y) : 371,603 Mpa (hasil uji tarik baja)
- Mutu baja \varnothing 4.5 (f_y) : 525,452 Mpa (hasil uji tarik baja)
- Tulangan pokok : \varnothing 8 mm sket 8 mm
- Tulangan sengkang : \varnothing 4.5 mm sket 4.5 mm
- Selimut beton : 10 mm
- Modulus Elastisitas baja (E_s) : 200000 Mpa. (SNI-03-2847-2002, pasal 10.5.2, hal 54)
- Regangan maks. Beton ($\epsilon'c$) : 0.003 (SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal

69

3.7.1. Kontrol kuat lentur

Data perencanaan :

Gambar 3.5 Penampang balok normal



- Tinggi balok : 150 mm
- Lebar balok : 100 mm
- Panjang balok : 2000 mm
- Tebal selimut beton : 10 mm
- Mutu beton ($f'c$) : 18.38 Mpa
- Tulangan pokok ($f'y$) : Ø 8 mm = 371,603 Mpa (hasil uji tarik baja)
- Tulangan sengkang ($f'y$) : Ø 4.5 mm = 525,509 Mpa (hasil uji tarik baja)
- β_1 : 0.85
- q (beban merata) : $b \times h \times \text{Berat jenis beton}$
= $0.1 \times 0.15 \times 2400$
= 36 Kg/m
= 360 N/m
= 0.36 N/mm

➤ $d' = \text{tebal selimut beton} + \text{diameter sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \text{diameter tulangan tarik}$

$$= 10 + 4.5 + 0.5 \times 8$$

$$= 18.5 \text{ mm}$$

➤ $d = h - d'$

$$= 150 - 18.5$$

$$= 131.5 \text{ mm}$$

➤ $A_s = A_s' = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 8^2$$

$$= 100.571$$

➤ Mencari nilai C

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \times 600$$

$$A_s \cdot f_y = (0.85 c) \cdot b \cdot 0.85 \cdot f'c + A_s' \cdot \left(\frac{c-d'}{c} \cdot 600\right)$$

$$A_s \cdot f_y \cdot c = 0.85 \cdot c^2 \cdot b \cdot 0.85 \cdot f'c + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600$$

$$100.57 \cdot 371.601 \cdot c = 0.85 \cdot c^2 \cdot 100 \cdot 0.85 \cdot 18.38 + 100.57 \cdot (c - 18.5) \cdot 600$$

$$37372.114 \times C = 1327.955 \times C^2 + 60342 \times C - 1116327$$

$$0 = \frac{1327.955 \times C^2 + 26656.08 - 1116327}{1327.955}$$

$$0 = C^2 + 20.07 - 840.6$$

Maka nilai C dengan rumus abc adalah :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C = \frac{20.07 \pm \sqrt{20.07^2 - (4 \times 1 \times (-840.64))}}{2 \times 1}$$

C = 20.65 mm (memenuhi)

C = -40.72 mm (tidak memenuhi)

➤ Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \times 600$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{18.5}{20.65}\right) \times 600$$

$$= 62.47 < 371,603 \quad \text{belum leleh } f_s' \leq f_y$$

➤ a = β₁ x C

$$= 0.85 \times 20.65$$

$$= 17.55 \text{ mm}$$

➤ C_c = a x b x (0.85 x f'_c)

$$= 17.55 \times 100 \times (0.85 \times 18.38)$$

$$= 27418.365 \text{ N}$$

➤ C_s = A'_s x f'_s

$$= 100.57 \times 62.47$$

$$= 6282.607 \text{ N}$$

$$\text{➤ } T_s = A_s \times f_y$$

$$= 100.57 \times 371,603$$

$$= 37372,114 \text{ N}$$

$$\text{➤ } Z_1 = d - \frac{a}{2} = 131.5 - \frac{17.55}{2} = 122.725 \text{ mm}$$

$$\text{➤ } Z_2 = d - d' = 131.5 - 18.5 = 113 \text{ mm}$$

$$\text{➤ } M_n = (C_c \times Z_1) + (C_s \times Z_2)$$

$$= (27418.365 \times 122.725) + (6282.607 \times 113)$$

$$= 4074853.436 \text{ Nmm}$$

$$\text{➤ } M_r = \frac{1}{4} \times p \times L + \frac{1}{8} \times q \times L^2$$

$$4074853.436 = \frac{1}{4} \times p \times 2000 + \frac{1}{8} \times 0.36 \times 2000^2$$

$$4074853.436 = 500 \times p + 180000$$

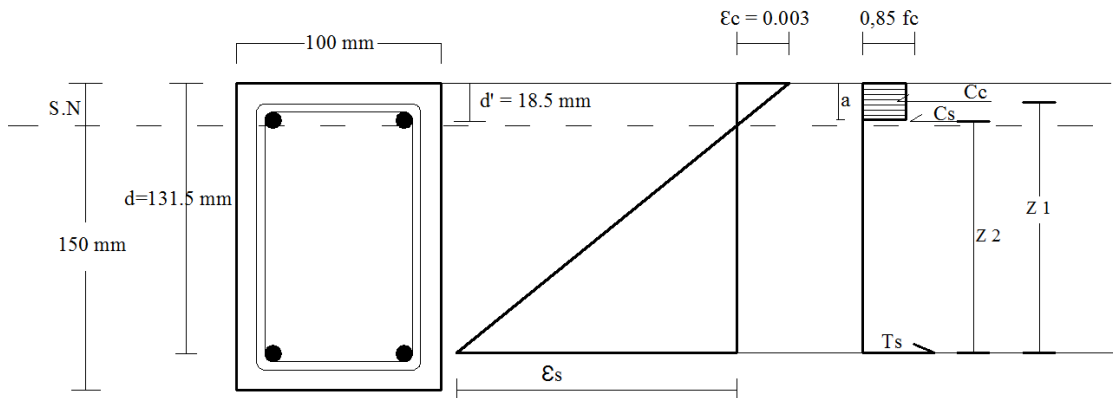
$$p = 4074853.436 - 180000$$

$$p = 7789.706572 \text{ N}$$

$$p = 778.9706572 \text{ Kg}$$

$$p = 0.7789706572 \text{ Ton}$$

Gambar 3.6 Diagram regangan dan tegangan balok normal



Tabel 3.4 hasil analisa teoritis untuk pembebanan maksimum.

No	Benda uji	Mn (Nmm)	a (mm)	b (mm)	L (mm)	q (Nmm)	Pmaks (Ton)
1	Normal	4074853,436	17,55	100	2000	0,36	0,77897

3.7.2. Penulangan Kuat Geser

Data Perhitungan:

$$V_u = \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right) \times 125\%$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$d = 131.5 \text{ mm}$$

$$L = 2000 \text{ mm}$$

$$f'_c = 18.38 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 510, 509 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{18,38} \times 100 \times 113.5 \\
 &= 18792,18 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= \frac{2}{3} \times \sqrt{18,38} \times 100 \times 113.5 \\
 &= 37584,3676 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$V_s \text{ min} < V_s \text{ max}$, Jadi dimensi balok yang dipakai 100/150

Kuat Geser Nominal (V_n)

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 9396,02 \text{ N} + 37584,3676 \text{ N} \\
 &= 46980,46 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kapasitas geser yang dapat dipikul beton (V_c)

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{18,38} \times 100 \times 131.5 \\
 &= 9396,092 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \times \phi \times V_c &= \frac{1}{2} \times 0,6 \times (9396,092) \\
 &= 2818,828 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Karena } V_u \geq \frac{1}{2} \times \emptyset \times V_c$$

$$4254,735 \text{ N} \geq 2818,828 \text{ N}$$

Maka diperlukan tulangan geser

Menentukan Tulangan Geser

$$V_s = 37584,3676 \text{ N}$$

Nilai V_s harus lebih kecil dari $\frac{2 \times \sqrt{f'c}}{3} \times b \times d$

$$\frac{2 \times \sqrt{18.38}}{3} \times 100 \times 131,5 = 37584,37 \text{ N}$$

$$\frac{2 \times \sqrt{f'c}}{3} \times b \times d > V_s \rightarrow (\text{OK})$$

Dicoba dipakai sengkang $\emptyset 4.5 \text{ mm}$ ($A_s = 0,158 \text{ cm}^2$)

$$A_v = 2 \times A_s =$$

$$2 \times 0,158 = 0,318 \text{ cm}^2 = 31,8 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang vertical :

$$V_n = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$46980,46 \text{ N} = \frac{31,8 \times 510,509 \times 131,5}{s}$$

$$s = 45,429 \text{ mm}$$

$$1/3 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'c}$$

$$1/3 \times 100 \times 131,5 \times \sqrt{18.38} = 18792,18 \text{ N}$$

$$46980,46 \text{ N} > 18792,18 \text{ N}$$

jarak sengkang maksimum adalah $d/2 = 131,5/2 = 65,75 \text{ mm}$

Di pasang sengkang $\emptyset 4.5 \text{ mm}$ dengan jarak 65 mm ($\emptyset 4.5 - 65 \text{ mm}$)

3.7.3. Perhitungan Lendutan

1. Akibat beban teoritis

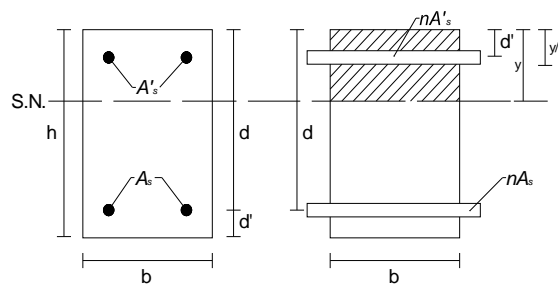
a. Letak garis netral penampang transformasi (y)

Data perhitungan :

h	=	150 mm	$\emptyset_{\text{Tul. sengkang}}$	=	4.5 mm
b	=	100 mm	$\emptyset_{\text{Tul. utama}}$	=	8 mm
d_{selimut}	=	10 mm	E_s	=	200000 Mpa

Balok Normal

Gambar 3.7 Penampang transformasi balok normal



$$A_s / A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 100,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d' &= d_{\text{selimut}} + \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} + 1/2 \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 10 + 4,5 + 1/2(8) = 18,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} - 1/2 \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 150 - 10 - 4,5 - 1/2(8) = 131,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral :

$$\frac{nAsd + nAs'd' + by(1/2y)}{by + nAs + nAs'} = y$$

$$nAsd + nAs'd' + by(1/2y) = by^2 + nAsy + nAs'y$$

$$\frac{1}{2}by^2 + nAs'y - nAs'd' - nAsd + nAsy = 0$$

Maka :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{18,38} = 20149,794 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{20149,794} = 9,926$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(100)y^2 + 9,926 \cdot 100,57 \cdot y - 9,926 \cdot 100,57 \cdot 18,5 - 9,926 \cdot 100,57 \cdot 131,5 \\ + 9,926 \cdot 100,57 \cdot y = 0 \end{aligned}$$

$$50y^2 + 998,257y - 18467,76967 - 131270,9033 + 998,257y = 0$$

$$\begin{array}{r} 50y^2 + 1996,514y - 149738,673 = 0 \\ \hline y^2 + 39,93y - 2994,77 = 0 \end{array} : 50$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-39,93 \pm \sqrt{39,93^2 - (4 \cdot 1 \cdot (-2994,77))}}{2 \times 1}$$

$$y = 38,287 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -78,217 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

b. Momen inersia penampang retak transformasi (I_{cr})

Data perhitungan :

$$A_s/A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 100,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d' &= d_{\text{selimut}} + \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} + 1/2\emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 10 + 4,5 + 1/2(8) = 18,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} - 1/2\emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 150 - 10 - 4,5 - 1/2(8) = 131,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia penampang retak transformasi (I_{cr}) balok normal di hitung dengan rumus :

- Untuk balok normal dan variasi

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 1/3 by^3 + nA_s (d - y)^2 + (n - 1)A'_s (y - d')^2 \\ &= \frac{1}{3} \cdot 100 \cdot 38,287^3 + 9,926 \cdot 100,57 \cdot (131,5 - 38,287)^2 + \\ &\quad (9,926 - 1) \cdot 100,57 \cdot (38,287 - 18,5)^2 \\ &= 11006936,97 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di tabelkan sebagai berikut:

Tabel 3.5 Hasil analisa momen inersia penampang retak (I_{cr})

No	Benda uji	n	A_s (mm ²)	A'_s (mm ²)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	y (mm)	I_{cr} (mm ⁴)
1	BN	9,926	100,57	100,57	100	131,5	18,5	38,287	11006936,97

c. Momen inersia penampang utuh (I_g)

Karena ukuran penampang semua balok adalah sama, maka nilai momen inersia penampang utuh adalah :

$$I_g = bh^3/12$$

Dimana :

$$b = 100 \text{ mm} , h = 150 \text{ mm}$$

maka :

$$I_g = 1/12 \cdot 100 \cdot 150^3$$

$$I_g = 28125000 \text{ mm}^4$$

d. Momen saat timbul retak pertama kali (M_{cr})

Momen retak dihitung berdasarkan rumus :

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

Dimana :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c} = 3,001 \text{ Mpa}$$

$$I_g = 100 \cdot 150^3 / 12 = 28125000 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi,} \quad M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,001 \cdot 28125000}{75}$$

$$= 1125387,433 \text{ Nmm}$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.6 Hasil analisa momen retak (M_{cr})

No	Benda uji	f'_c (MPa)	f_r (MPa)	I_g (mm ⁴)	h (mm)	Y_t (mm)	M_{cr} (Nmm)
1	BN	18,38	3,001	28125000,00	150	75	1125387,433

e. Momen inersia efektif (I_e)

Momen inersia efektif dihitung berdasarkan rumus :

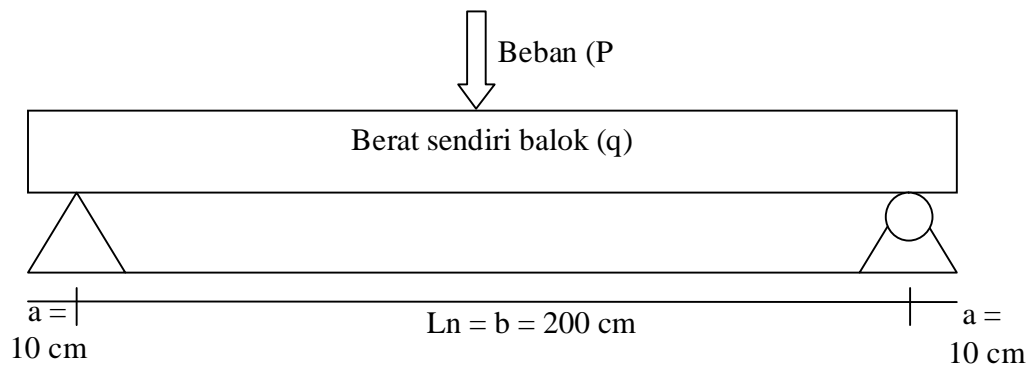
$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g$$

Dimana, pembebanan yang bekerja adalah beban sendiri serta beban terpusat dan diprediksi balok telah mengalami retak ($M_a > M_{cr}$). Untuk momen beban terbagi rata, karena panjang overstick lebih kecil dari tinggi balok, maka kondisi overstick diabaikan. Digunakan kondisi tanpa overstick. Sehingga nilai M_a adalah :

$$M_a = 1/4Pl + 1/8ql^2$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel 3.7 pada kolom ke 10.

Gambar 3.8 Sketsa penempatan balok



a. Balok normal

Data perhitungan :

$$E_c = 20149.794 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1125387.433 \text{ N/mm}$$

$$I_{cr} = 11006917.97 \text{ mm}^4$$

$$I_g = 28125000 \text{ mm}^4$$

$$q = 0.36 \text{ N/mm}$$

$$l/b = 2000 \text{ mm}$$

Dengan prediksi balok mengalami dua kondisi yaitu kondisi praretak dan kondisi pasca retak. Maka, untuk hitunganya adalah :

Untuk kondisi praretak ($M_a < M_{cr}$)

$$P = 50 \text{ kg} = 50 \times 9,81 \text{ N} = 490,5 \text{ N}$$

maka :

$$M_a = (1/4 \times Pl) + (1/8 \times ql^2)$$

$$M_a = \left(\frac{1}{4} \times 490,5 \times 2000 \right) + \left(\frac{1}{8} \times (0,36) \times 2000^2 \right)$$

$$M_a = 245250 + 180000$$

$$M_a = 425250 \text{ N/mm}$$

$$= 425250 \text{ N/mm} < M_{cr} = 1125387,433 \text{ N/mm}$$

$$I_e = I_g = 28125000 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

$$= \frac{490,5 \times (2000^3)}{48 \times 20149,794 \times 28125000} + \frac{5 \times 0,36 \times (2000)^4}{384 \times 20149,794 \times 28125000}$$

$$= 0,144 + 0,132 = 0,28 \text{ mm}$$

Untuk kondisi pascaretak ($M_a > M_{cr}$)

$$P = 250 \text{ kg} = 250 \times 9,81 = 2452,5 \text{ N}$$

maka :

$$M_a = (1/4 \times Pl) + (1/8 \times ql^2)$$

$$= (1/4 \times 2452,5 \times 2000) + (1/8 \times (0,36) \times 2000^2)$$

$$= 1226250 + 180000 = 1406250 \text{ N/mm} > M_{cr} = 1125387.433 \text{ N/mm}$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{1125387.433}{1406250}\right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1125387.433}{1406250}\right)^3\right] \times 11006917.97$$

$$I_e = 19780434.14 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

$$= \frac{2452.5 \times (2000^3)}{48 \times 20149.794 \times 19780434.14} + \frac{5 \times 0.36 \times (2000)^4}{384 \times 20149.794 \times 19780434.14}$$

$$= 1.025 + 0.188 = 1.21 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya kami tampilkan dalam bentuk tabel pada tabel 3.7 dan hubungan antara beban-lendutannya kami tampilkan dalam grafik 3.1.

3.7.4. Retak awal

Retak awal yang terjadi diperhitungkan berdasarkan momen retak dimana yang menjadi acuan retak awal adalah beban yang bekerja. Maka berdasarkan rumus :

$$M_{cr} = \left(\frac{1}{4}Pl + \frac{1}{8}ql^2\right) \rightarrow P = \frac{4(M_{cr} - \frac{1}{8}ql^2)}{l}$$

Nilai beban saat terjadi retak awal dapat diketahui, karena momen retak semua balok sama, maka perhitungan sebagai berikut:

$$M_{cr} = 1125387.433 \text{ Nmm} \quad l_n = 2000 \text{ mm} \quad q = 0.36 \text{ N/mm}$$

maka :

$$\begin{aligned}
P &= 4 \times (M_{cr} - 1/8ql^2)/l_n \\
&= (4 \times (1125387.433 - (1/8 \times (0.36) \times 2000^2)))/2000 \\
&= 1962 \text{ N}
\end{aligned}$$

Pada keseluruhan balok, secara teoritis retak awal terjadi pada saat beban yang bekerja sebesar 1962 N.

3.7.5. Perhitungan lebar retak

Perhitungan retak mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 12.6 butir 4. Yaitu :

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta f_s^3 \sqrt{d_c A}$$

Dengan pertimbangan penampang balok dan parameter perhitungan yang digunakan untuk setiap benda uji secara umum sama, yaitu :

$$\begin{aligned}
b &= 100 \text{ mm} & \emptyset_{\text{Tul. utama}} &= 8 \text{ mm} \\
h &= 150 \text{ mm} & \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} &= 4,5 \text{ mm} \\
f_y &= 334,95 \text{ MPa} & d_{\text{selimut}} &= 10 \text{ mm} \\
c &= 20,65 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d &= h - d_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\
&= 150 - 10 - 4,5 - \frac{1}{2}(8) = 131,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_c &= d_{\text{selimut}} + \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\
&= 10 + 4,5 + \frac{1}{2}(8) = 18,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$f_s = 60\% f_y = 60\% (334,95) = 200,97 \text{ MPa}$$

$$\beta = (h-c)/(d-c)$$

$$= (150 - 20,65) / (131,5 - 20,65)$$

$$= 1,167 \text{ mm}$$

$$A = \frac{bh_r}{\text{jumlah tulangan baja}}$$

Dimana :

$$hr = 2d_c = 2 \times 18,5 = 37 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 2 buah

$$A = \frac{100 \times 37}{2} = 1850 \text{ mm}^2$$

maka analisis teoritis retak

$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

$$= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1,167 \cdot 200,97 \cdot \sqrt[3]{18,5 \cdot 1850}$$

$$= 0,0838 \text{ mm}$$

Tabel 3.7 Hasil analisa teoritis lendutan (Δ)

No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	Beban (q) (N/mm)	L (mm)	M (Nmm)	M _{cr} (Nmm)	I _{cr} (mm ⁴)	I _g (mm ⁴)	I _e (mm ⁴)	E _c (Mpa)	Δ (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0,36	2000	180000,00	1125387,43	11006917,97	28125000	28125000,00	20149,79	0,13
2	50	490,5	0,36	2000	425250,00	1125387,43	11006917,97	28125000	28125000,00	20149,79	0,28
3	100	981	0,36	2000	670500,00	1125387,43	11006917,97	28125000	28125000,00	20149,79	0,42
4	150	1471,5	0,36	2000	915750,00	1125387,43	11006917,97	28125000	28125000,00	20149,79	0,57
Retak awal	200	1962,00	0,36	2000	1161000,00	1125387,43	11006917,97	28125000	28125000,00	20149,79	0,71
5	250	2452,5	0,36	2000	1406250,00	1125387,43	11006917,97	28125000	19780434,14	20149,79	1,21
6	300	2943	0,36	2000	1651500,00	1125387,43	11006917,97	28125000	16423502,85	20149,79	1,71
7	350	3433,5	0,36	2000	1896750,00	1125387,43	11006917,97	28125000	14582370,44	20149,79	2,20
8	400	3924	0,36	2000	2142000,00	1125387,43	11006917,97	28125000	13489495,89	20149,79	2,68
9	450	4414,5	0,36	2000	2387250,00	1125387,43	11006917,97	28125000	12800278,39	20149,79	3,14
10	500	4905	0,36	2000	2632500,00	1125387,43	11006917,97	28125000	12344302,05	20149,79	3,59
11	550	5395,5	0,36	2000	2877750,00	1125387,43	11006917,97	28125000	12030687,27	20149,79	4,02
12	600	5886	0,36	2000	3123000,00	1125387,43	11006917,97	28125000	11807941,61	20149,79	4,44
13	650	6376,5	0,36	2000	3368250,00	1125387,43	11006917,97	28125000	11645399,49	20149,79	4,85
14	700	6867	0,36	2000	3613500,00	1125387,43	11006917,97	28125000	11524021,03	20149,79	5,25
15	750	7357,5	0,36	2000	3858750,00	1125387,43	11006917,97	28125000	11431558,42	20149,79	5,65
16	778,97	7848	0,36	2000	4104000,00	1125387,43	11006917,97	28125000	11359889,14	20149,79	5,88

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.7.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg, Pemberian beban dengan kelipatan 50 Kg

➤ Kolom 3

Beban (P) N, besar beban pada kolom 2 dikonversikan ke satuan Newton

(N)

➤ Kolom 4

Beban merata (q) N/mm

$$q = b \times h \times \text{Berat jenis beton}$$

$$q = b \times h \times 2400$$

➤ Kolom 5

Panjang Balok (L) mm

➤ Kolom 6

Momen (M) Nmm. (Nomor Urut 1)

$$\frac{1}{8} \times q \times l^2$$

Momen (M) Nmm. (Nomor Urut 2 s/d 20)

$$\frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

➤ Kolom 7

Momen saat timbul retak pertama kali (M_{cr}) Nmm

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

Dimana :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c} = 3.001 \text{ Mpa}$$

$$I_g = 100 \times 150^3 / 12 = 28125000 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$

➤ Kolom 8

Momen inersia penampang retak transformasi (I_{cr}) mm^4

$$I_{cr} = 1/3 by^3 + nAs (d - y)^2 + (n - 1)A's (y - d')^2$$

➤ Kolom 9

Momen inersia penampang utuh (I_g) mm^4

$$I_g = bh^3/12$$

➤ Kolom 10

Momen inersia efektif (I_e) mm^4 (Nomor urut 1 s/d 4)

Nilainya diambil dari I_g , karena penampang masih dalam keadaan utuh.

Momen inersia efektif (I_e) mm^4 (Nomor urut 5 s/d 20)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g$$

➤ Kolom 11

Modulus Elastisitas Beton (E_c) MPa

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

➤ Kolom 12

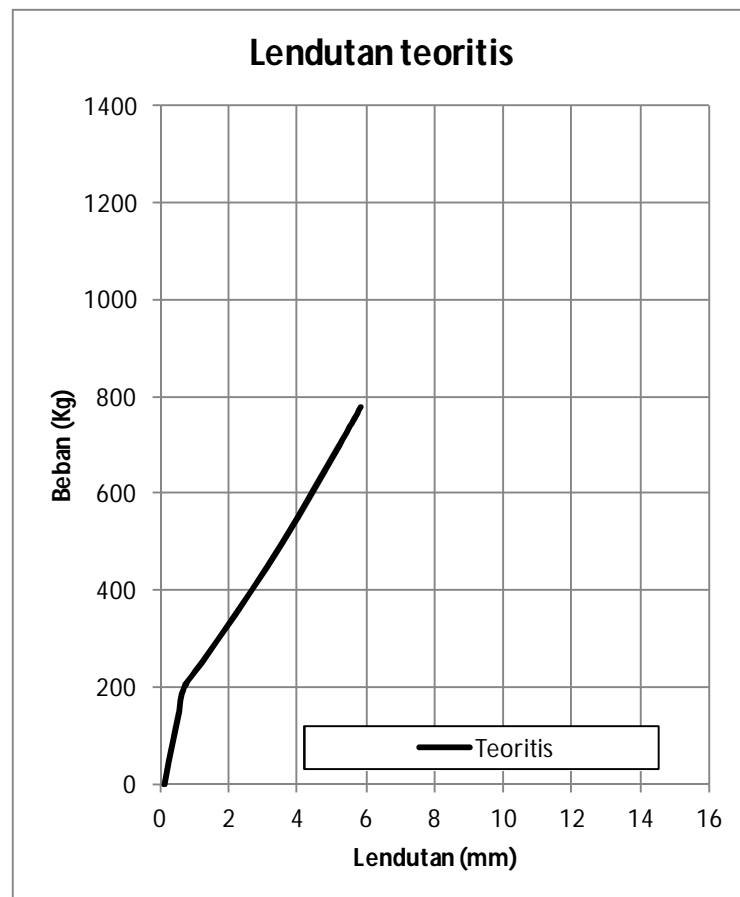
Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 1)

$$\Delta = \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 20)

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Grafik 3.1. Hubungan beban – lendutan teoritis



Kurva beban - lendutan balok beton yang terlihat pada Grafik 3.1 adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada

Tabel 3.7 yaitu angka-angka pada kolom 12 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban). Terlihat pada beban (P) 200 Kg, terjadi retak pertama pada balok beton dan $P_{maks} = 778,97$ kg dengan $\Delta = 5,88$ mm.

3.7.6. Perhitungan Kuat Lentur

Balok teoritis

Data perencanaan : $l = 2000$ mm

$q = 0.36$ N/mm

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\ &= \frac{1}{8} \times 0.36 \times 2000^2 + \frac{1}{4} \times 490,5 \times 2000 \\ &= 425250,00 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 3.8*.

Tabel 3.8 Kuat Lentur Teoritis

No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Lentur (Nmm)	Δ (mm)
1	2	3	4	5	6	7
1	0	0,0	0,36	2000	180000,00	0,13
2	50	490,5	0,36	2000	425250,00	0,28
3	100	981,0	0,36	2000	670500,00	0,42
4	150	1471,5	0,36	2000	915750,00	0,57
5	200	1962,0	0,36	2000	1161000,00	0,71
6	250	2452,5	0,36	2000	1406250,00	1,21
7	300	2943,0	0,36	2000	1651500,00	1,71
8	350	3433,5	0,36	2000	1896750,00	2,20
9	400	3924,0	0,36	2000	2142000,00	2,68
10	450	4414,5	0,36	2000	2387250,00	3,14
11	500	4905,0	0,36	2000	2632500,00	3,59

12	550	5395,5	0,36	2000	2877750,00	4,02
13	600	5886,0	0,36	2000	3123000,00	4,44
14	650	6376,5	0,36	2000	3368250,00	4,85
15	700	6867,0	0,36	2000	3613500,00	5,25
16	750	7357,5	0,36	2000	3858750,00	5,65
17	778,97	7848,0	0,36	2000	4000847,85	5,88

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.8.

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Beban (P) N (di ambil dari tabel 3.7 kolom 3)

➤ Kolom 4

Beban merata (q) Kgmm

$q = b \times h \times \text{Berat jenis beton}$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 6

Kuat Lentur (M) Kgmm

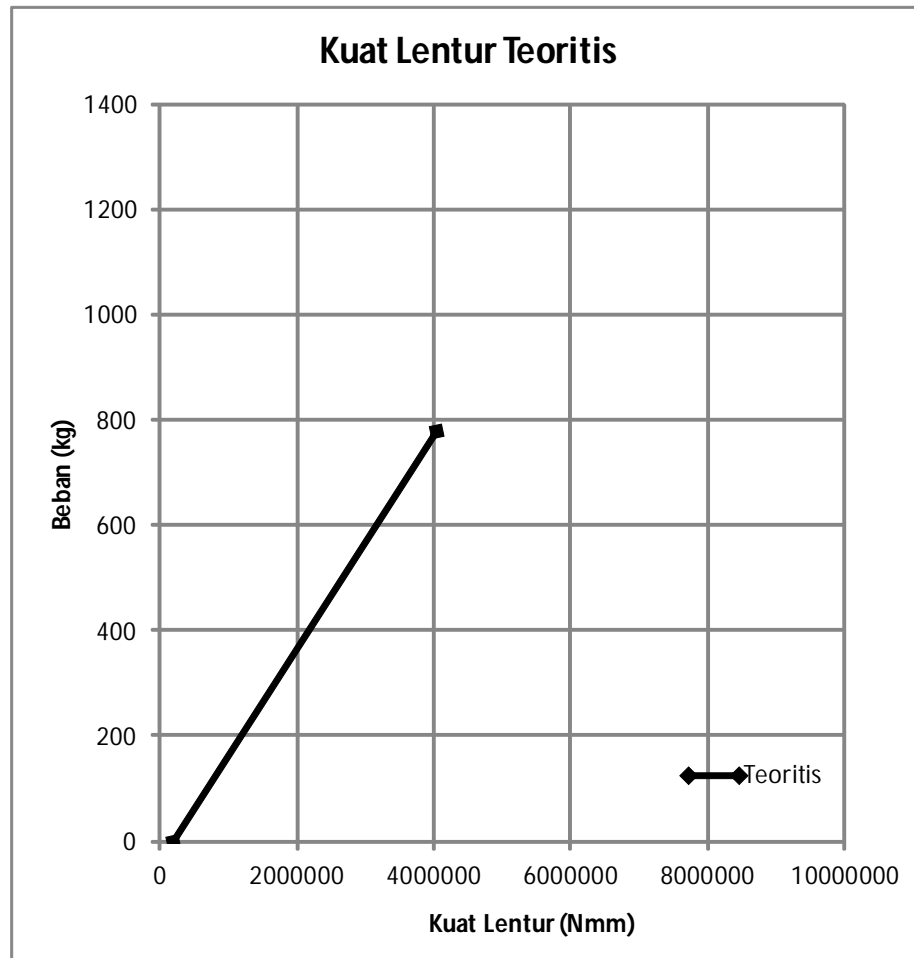
$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

➤ Kolom 7

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Grafik 3.2 Hubungan Beban – Kuat Lentur Teoritis



Kurva beban – kuat lentur balok beton yang terlihat pada Grafik 3.2 adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.8 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban). Dan $P_{maks} = 778,97$ kg dengan nilai kuat lentur = $4000847,85$ Nmm.

3.7.7. Perhitungan Kuat Geser

Data perencanaan : $l = 2000 \text{ mm}$

$q = 0.36 \text{ N/mm}$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 490,5 + \frac{1}{2} \times 0.36 \times 2000 \right) \\ &= 605,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 3.9*.

Tabel 3.9 Kuat Geser Teoritis

No	Beban (Kg)	Beban (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Geser (N)	Δ (mm)
1	2	3	4	5	6	7
1	0	0,0	0,36	2000	360	0,13
2	50	490,5	0,36	2000	605,25	0,28
3	100	981,0	0,36	2000	850,5	0,42
4	150	1471,5	0,36	2000	1095,75	0,57
5	200	1962,0	0,36	2000	1341	0,71
6	250	2452,5	0,36	2000	1586,25	1,21
7	300	2943,0	0,36	2000	1831,5	1,71
8	350	3433,5	0,36	2000	2076,75	2,20
9	400	3924,0	0,36	2000	2322	2,68
10	450	4414,5	0,36	2000	2567,25	3,14
11	500	4905,0	0,36	2000	2812,5	3,59
12	550	5395,5	0,36	2000	3057,75	4,02
13	600	5886,0	0,36	2000	3303	4,44
14	650	6376,5	0,36	2000	3548,25	4,85
15	700	6867,0	0,36	2000	3793,5	5,25
16	750	7357,5	0,36	2000	4038,75	5,65
17	778,97	7848,0	0,36	2000	4180,84785	5,88

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.9.

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

Beban (P) Kg

- Kolom 3

Beban (P) N (di ambil dari tabel 3.7 kolom 3)

- Kolom 4

Beban merata (q) Kgmm

$q = b \times h \times \text{Berat jenis beton}$

- Kolom 5

Panjang balok (l) mm

- Kolom 6

Kuat geser balok (Vu) Kg

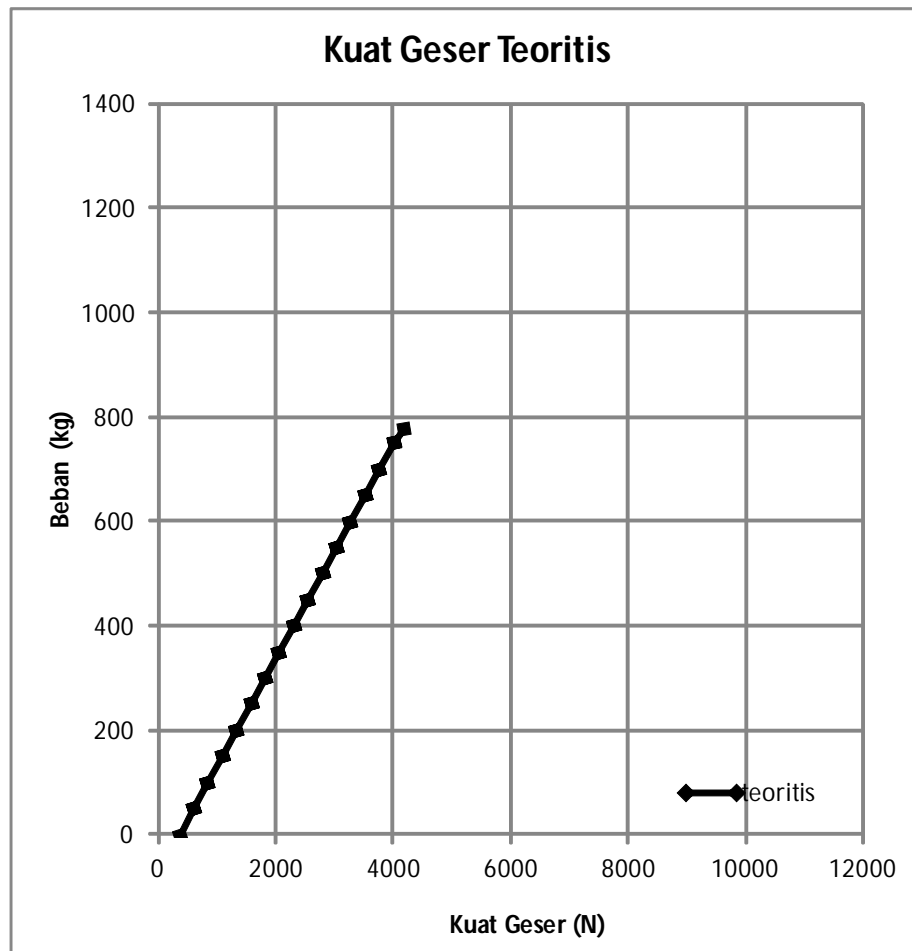
$$Vu = \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right)$$

- Kolom 7

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Grafik 3.3 Hubungan Beban – Kuat Geser Teoritis



Kurva beban – kuat geser balok beton yang terlihat pada Grafik 3.3 adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.9 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban). Dan $P_{maks} = 778,97$ kg dengan nilai kuat geser = 4180,84785 N.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Eksperimen

4.1.1. Balok Tanpa Sambungan (BTS)

1. Balok Tanpa Sambungan A

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan A (BTS-A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=200\text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 0,78\text{ mm}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1100\text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 8,95\text{ mm}$.

Tabel 4.1 Data hasil eksperimen balok tanpa sambunga A (BTS-A)

Benda uji : BTS-A			
Tanggal pengujian : 02/11/2013			
Tul. Tekan : 2Ø8			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	22	0,22
3	100	32	0,32
4	150	45	0,45
Retak awal	200	78	0,78
6	250	105	1,05
7	300	158	1,58
8	350	198	1,98
9	400	255	2,55
10	450	298	2,98
11	500	352	3,52

12	550	395	3,95
13	600	454	4,54
14	650	494	4,94
15	700	549	5,49
16	750	594	5,94
17	800	640	6,40
18	850	692	6,92
19	900	728	7,28
20	950	765	7,65
21	1000	798	7,98
22	1050	839	8,39
23	1100	895	8,95
24	1090	1002	10,02
25	1080	1017	10,17
26	1070	1024	10,24
27	1060	1046	10,46

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.1.

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

➤ Kolom 4

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 1)

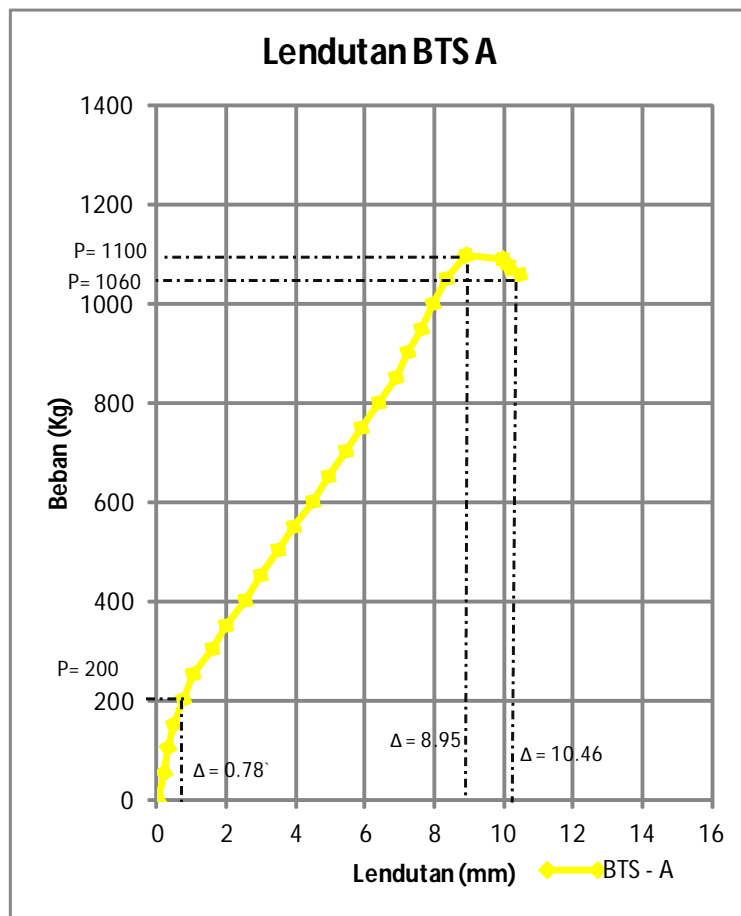
$$\Delta = \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 27)

$$\Delta = ((\text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1}) \times 0.01) +$$

Defleksi Nomor urut 1

Grafik 4.1 Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan A (BTS-A)



Hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan A (BTS-A) yang terlihat pada Grafik 4.1 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.1 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Gambar 4.1 Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan A (BTS-A)



Gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1100$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1060$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 10,46$ mm. Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada grafik 4.1.

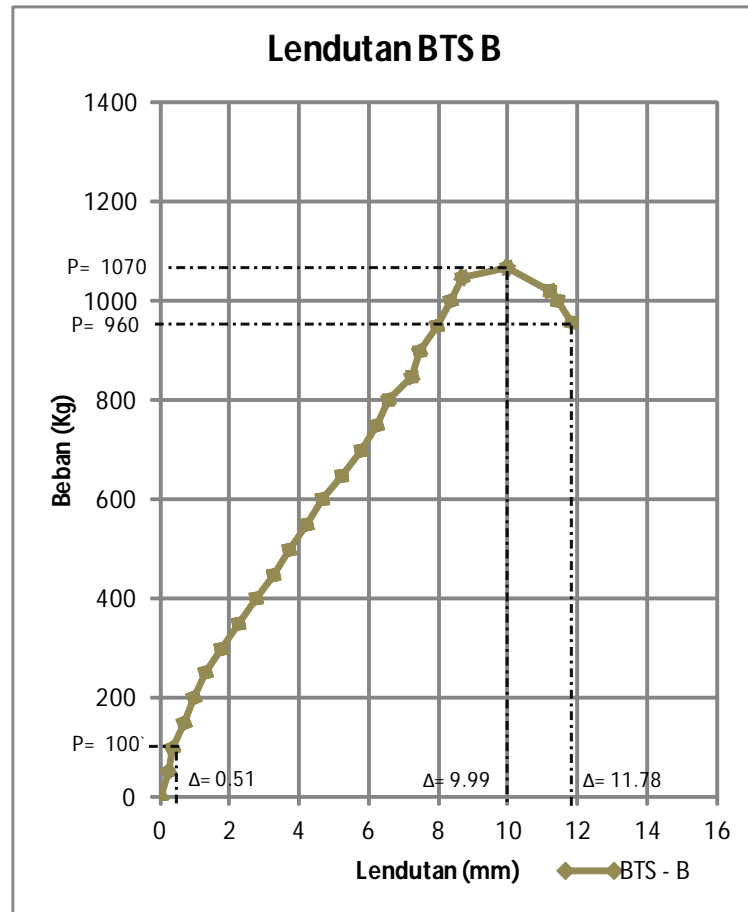
2. Balok Tanpa Sambungan B

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan B (BTS-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=100$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0,38$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1070$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9,99$ mm.

Tabel 4.2 Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan B (BTS-B)

Benda uji		BTS-B	
Tanggal pengujian		02/11/2013	
Tul. Tekan		2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	24	0,24
Retak awal	100	38	0,38
4	150	68	0,68
5	200	98	0,98
6	250	132	1,32
7	300	179	1,79
8	350	225	2,25
9	400	275	2,75
10	450	328	3,28
11	500	372	3,72
12	550	424	4,24
13	600	465	4,65
14	650	525	5,25
15	700	580	5,80
16	750	625	6,25
17	800	660	6,60
18	850	722	7,22
19	900	749	7,49
20	950	799	7,99
21	1000	839	8,39
22	1050	869	8,69
23	1070	999	9,99
24	1020	1119	11,19
25	1000	1142	11,42
26	960	1178	11,78

Grafik 4.2 Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan B (BTS-B)



Hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan B (BTS-B) yang terlihat pada grafik 4.2 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.2 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Gambar 4.2 Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan B (BTS-B)



Gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1070$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 960$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11,78$ mm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada grafik 4.2.

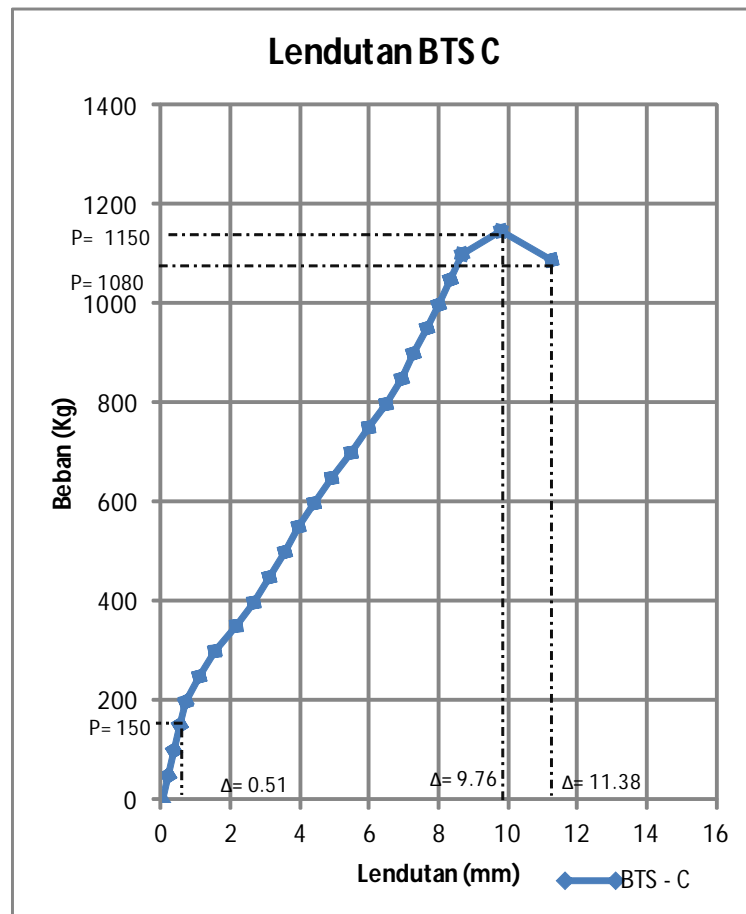
3. Balok Tanpa Sambungan C

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan C (BTS-C) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0,51$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9,76$ mm.

Tabel 4.3 Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan C (BTS-C)

Benda uji		:	BTS-C
Tanggal pengujian		:	02/11/2013
Tul. Tekan		:	2Ø8
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	20	0,20
3	100	35	0,35
Retal awal	150	51	0,51
5	200	70	0,70
6	250	109	1,09
7	300	155	1,55
8	350	215	2,15
9	400	265	2,65
10	450	310	3,10
11	500	355	3,55
12	550	398	3,98
13	600	442	4,42
14	650	490	4,90
15	700	545	5,45
16	750	598	5,98
17	800	650	6,50
18	850	690	6,90
19	900	725	7,25
20	950	768	7,68
21	1000	800	8,00
22	1050	830	8,30
23	1100	864	8,64
24	1150	976	9,76
25	1090	1125	11,25
26	1080	1138	11,38

Grafik 4.3 Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan C (BTS-C)



Hubungan beban - lendutan balok beton tanpa sambungan C (BTS-C) yang terlihat pada Grafik 4.3 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.3 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Gambar 4.3 Pengujian kuat lentur balok tanpa sambungan C (BTS-C)



Gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1150$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1080$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11.38$ mm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada grafik 4.3.

4. Gabungan hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan (BTS)

Tabel 4.4 Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan A,B,C & rata-rata

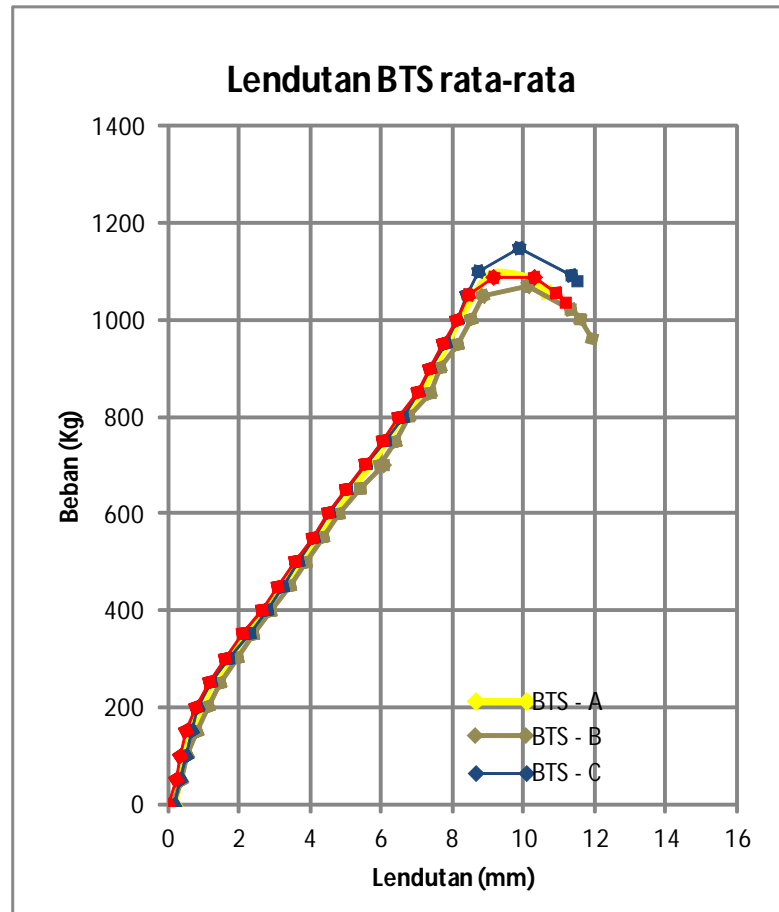
No.	Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata-rata	
	BTS A	BTS B	BTS C	BTS A	BTS B	BTS C	Beban (kg)	Defleksi (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	50	50	50	0,22	0,24	0,20	50,00	0,22
3	100	100	100	0,32	0,38	0,35	100,00	0,35
4	150	150	150	0,45	0,68	0,51	150,00	0,55
5	200	200	200	0,78	0,98	0,70	200,00	0,82
6	250	250	250	1,05	1,32	1,09	250,00	1,15

7	300	300	300	1,58	1,79	1,55	300,00	1,64
8	350	350	350	1,98	2,25	2,15	350,00	2,13
9	400	400	400	2,55	2,75	2,65	400,00	2,65
10	450	450	450	2,98	3,28	3,10	450,00	3,12
11	500	500	500	3,52	3,72	3,55	500,00	3,60
12	550	550	550	3,95	4,24	3,98	550,00	4,06
13	600	600	600	4,54	4,65	4,42	600,00	4,54
14	650	650	650	4,94	5,25	4,90	650,00	5,03
15	700	700	700	5,49	5,80	5,45	700,00	5,58
16	750	750	750	5,94	6,25	5,98	750,00	6,06
17	800	800	800	6,40	6,60	6,50	800,00	6,50
18	850	850	850	6,92	7,22	6,90	850,00	7,01
19	900	900	900	7,28	7,49	7,25	900,00	7,34
20	950	950	950	7,65	7,99	7,68	950,00	7,77
21	1000	1000	1000	7,98	8,39	8,00	1000,00	8,12
22	1050	1050	1050	8,39	8,69	8,30	1050,00	8,46
23	1100	1070	1100	8,95	9,99	8,64	1090,00	9,19
24	1090	1020	1150	10,02	11,19	9,76	1086,67	10,32
25	1080	1000	1090	10,17	11,42	11,25	1056,67	10,95
26	1070	960	1080	10,24	11,78	11,38	1036,67	11,13
27	1060	0,00	0,00	10,46	0,00	0,00	0,00	0,00

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar defleksi yang diukur menggunakan alat LVDT dan dilakukan pembacaan nilai defleksi menggunakan alat MVD amplifier. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.4 di atas.

Hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan beton dan tulangan (BTS-A, BTS-B, BTS-C) dan rata-rata yang terlihat pada Grafik 4.4 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.4 yaitu angka-angka pada kolom 9 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 8 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).

Grafik 4.4 Hubungan beban – lendutan BTS A,B,C & rata-rata



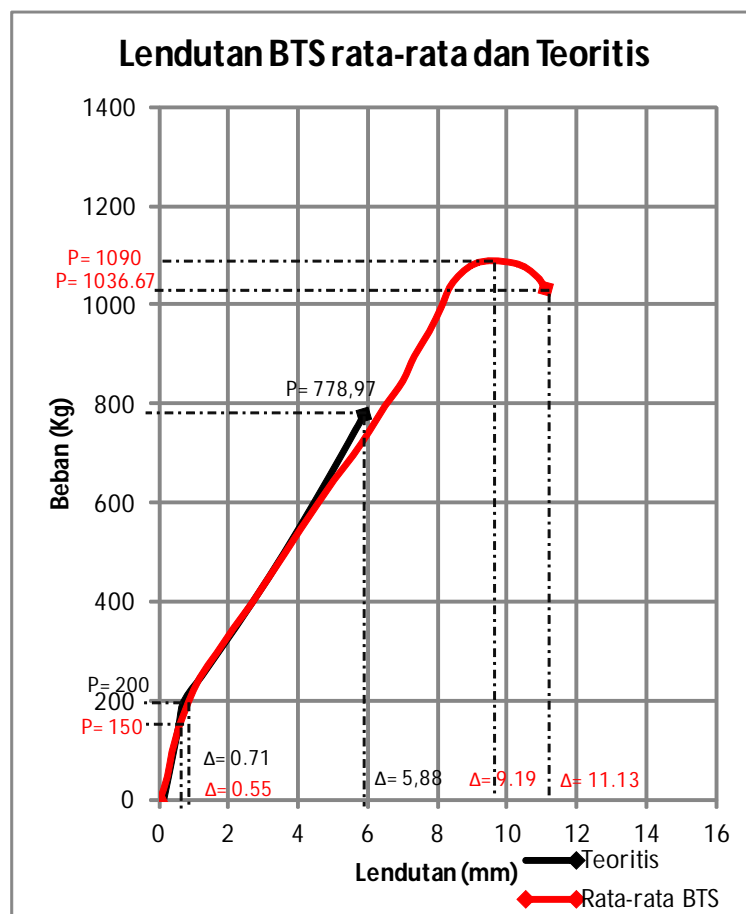
Berdasarkan bentuk grafik 4.4 di atas, terlihat ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok Tanpa Sambungan A,B,C, sehingga rincian perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

Grafik hasil analisa eksperimen Balok Tanpa Sambungan A mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1100 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1060 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 10,46 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok Tanpa Sambungan B mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1070 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 960 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 11,78 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok Tanpa Sambungan C mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1150 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1080 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 11,38 mm.

Grafik 4.5. Hubungan Beban-Lendutan BTS rata-rata dan teoritis



Hubungan beban-lendutan balok tanpa sambungan, rata-rata dan teoritis pada grafik 4.5 di atas terjadi perbedaan, dimana balok tanpa sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0,55 mm. Beban puncak terjadi pada P = 1090 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9,19$ mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 1036,67 Kg dengan besar defleksi Δ 11,13 mm.

Grafik balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 200 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0,71 mm. Beban puncak terjadi pada P = 778,97 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 5,88$ mm.

4.1.2. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)

1. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga (1/3) A

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0,67$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 930$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 10,83$ mm.

Tabel 4.5 Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepetiga bentang (1/3) A

Benda uji		:	B 1/3 - A
Tanggal pengujian		:	02/11/2013
Tul. Tekan		:	2Ø8
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	23	0,23
3	100	42	0,42
Retak awal	150	67	0,67
5	200	109	1,09
6	250	152	1,52
7	300	198	1,98
8	350	253	2,53
9	400	312	3,12
10	450	342	3,42
11	500	405	4,05
12	550	431	4,31
13	600	502	5,02
14	650	544	5,44
15	700	596	5,96
16	750	655	6,55
17	800	753	7,53
18	850	828	8,28
19	900	958	9,58
20	910	982	9,82
21	920	1037	10,37
22	930	1083	10,83
23	920	1140	11,40
24	910	1194	11,94
25	900	1228	12,28
26	890	1274	12,74

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.5.

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

➤ Kolom 4

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 1)

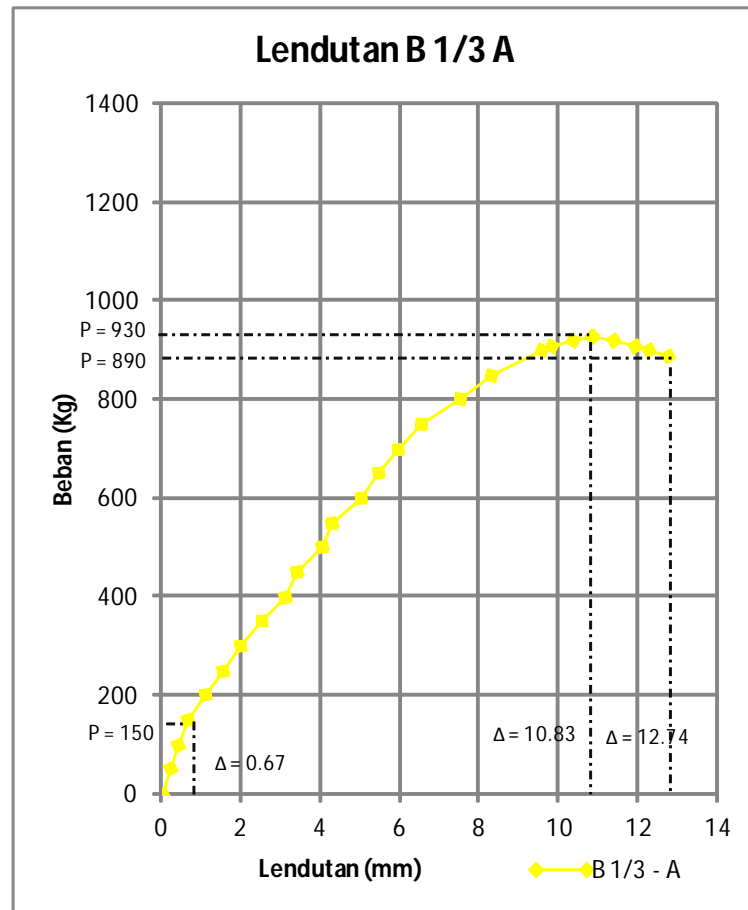
$$\Delta = \frac{5qb^4}{384E_cI_e}$$

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 26)

$$\Delta = ((\text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1}) \times 0,01) +$$

Defleksi Nomor urut 1

Grafik 4.6 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) A



Hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3 A) yang terlihat pada Grafik 4.6 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.5 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban)

Gambar 4.4 Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)A



Gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 930$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 890$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 12,74$ mm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada grafik 4.6.

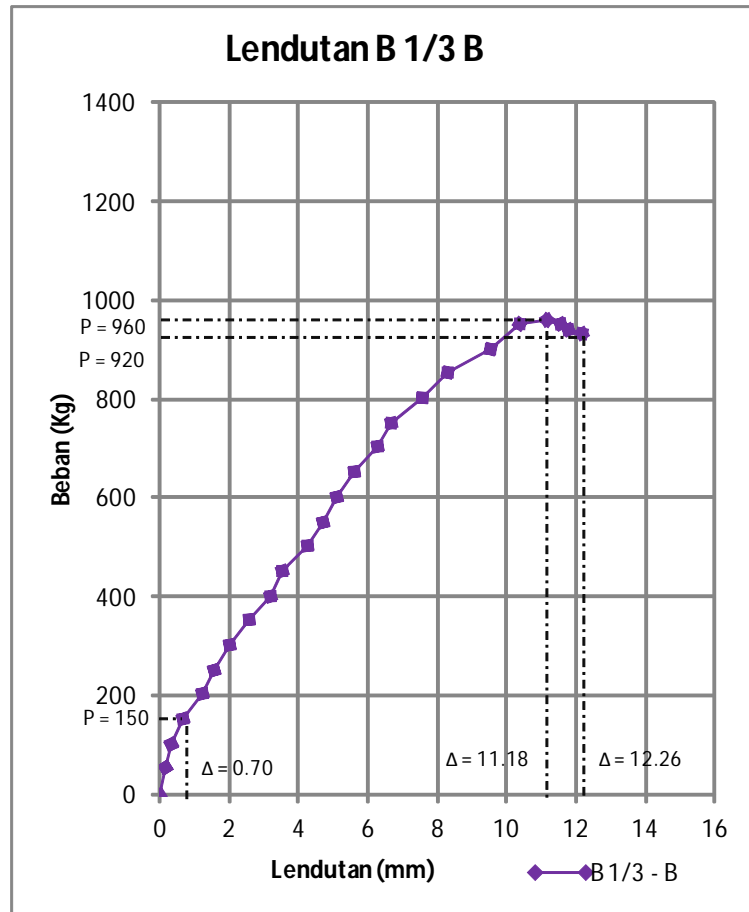
2. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) B

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0,70$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 960$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11,18$ mm.

Tabel 4.6 Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) B

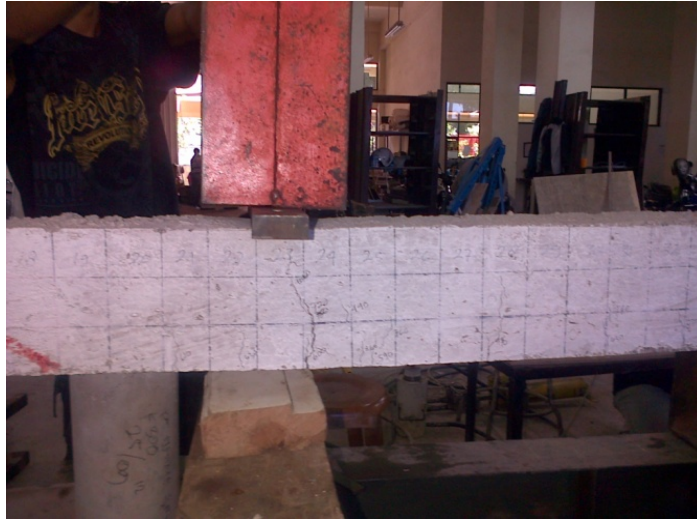
Benda uji		: B 1/3 - B	
Tanggal pengujian		: 02/11/2013	
Tul. Tekan		: 2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	21	0,21
3	100	39	0,39
Retak awal	150	70	0,70
5	200	124	1,24
6	250	162	1,62
7	300	203	2,03
8	350	261	2,61
9	400	325	3,25
10	450	357	3,57
11	500	428	4,28
12	550	473	4,73
13	600	512	5,12
14	650	564	5,64
15	700	628	6,28
16	750	669	6,69
17	800	762	7,62
18	850	835	8,35
19	900	953	9,53
20	950	1037	10,37
21	960	1118	11,18
22	950	1158	11,58
23	940	1182	11,82
24	930	1217	12,17
25	920	1226	12,26

Grafik 4.7 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang ($1/3$) **B**



Hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan $1/3$ bentang ($1/3$ -B) yang terlihat pada Grafik 4.7 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.6 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Gambar 4.5 Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)



Gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 960 \text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 920 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 12,26 \text{ mm}$. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada grafik 4.7.

3. Gabungan hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) A dan B

Tabel 4.7 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga 1/3 A, B dan rata-rata

No.	Beban (Kg)		Defleksi (mm)		Rata-rata	
	Balok 1/3 A	Balok 1/3 B	Balok 1/3 A	Balok 1/3 B	Beban (Kg)	Defleksi (mm)
1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0,00	0,00	0	0,00
2	50	50	0,23	0,21	50	0,22
3	100	100	0,42	0,39	100	0,41

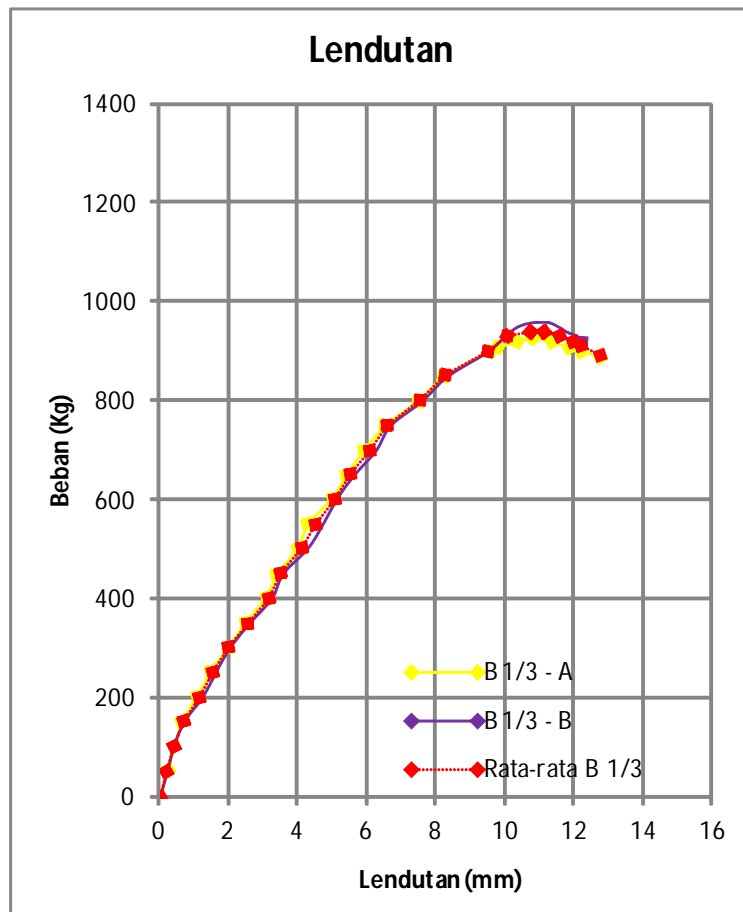
4	150	150	0,67	0,70	150	0,69
5	200	200	1,09	1,24	200	1,17
6	250	250	1,52	1,62	250	1,57
7	300	300	1,98	2,03	300	2,01
8	350	350	2,53	2,61	350	2,57
9	400	400	3,12	3,25	400	3,19
10	450	450	3,42	3,57	450	3,50
11	500	500	4,05	4,28	500	4,17
12	550	550	4,31	4,73	550	4,52
13	600	600	5,02	5,12	600	5,07
14	650	650	5,44	5,64	650	5,54
15	700	700	5,96	6,28	700	6,12
16	750	750	6,55	6,69	750	6,62
17	800	800	7,53	7,62	800	7,58
18	850	850	8,28	8,35	850	8,32
19	900	900	9,58	9,53	900	9,56
20	910	950	9,82	10,37	930	10,10
21	920	960	10,37	11,18	940	10,78
22	930	950	10,83	11,58	940	11,21
23	920	940	11,40	11,82	930	11,61
24	910	930	11,94	12,17	920	12,06
25	900	920	12,28	12,26	910	12,27
26	890	0	12,74	0,00	890	12,74

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar defleksi yang diukur menggunakan alat LVDT dan dilakukan pembacaan nilai defleksi menggunakan alat MVD amplifier. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang A dan B yang terlihat pada Grafik 4.8 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka

pada Tabel 4.7 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 6 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).

Grafik 4.8 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang ($1/3$) A, B dan rata-rata

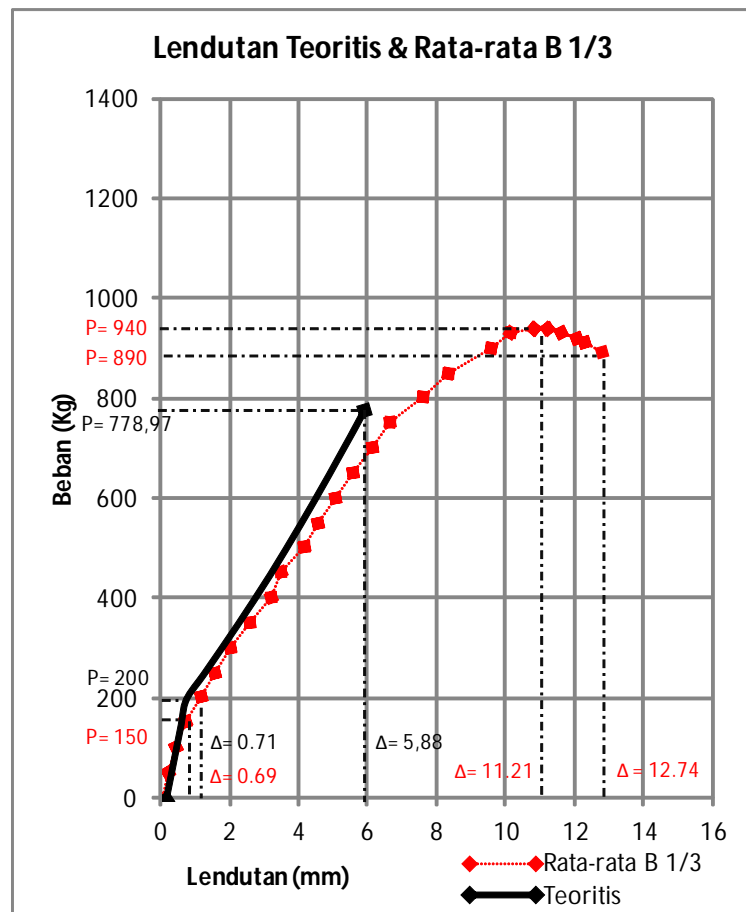


Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.8 di atas, terlihat ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) pada kurva balok eksperimen dengan jarak sambungan beton dan tulangan $1/3$ bentang sehingga rincian perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

Grafik hasil analisa eksperimen Balok 1/3 A mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 930 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 890 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 12.74 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok 1/3 B mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 960 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 920 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 12.26 mm.

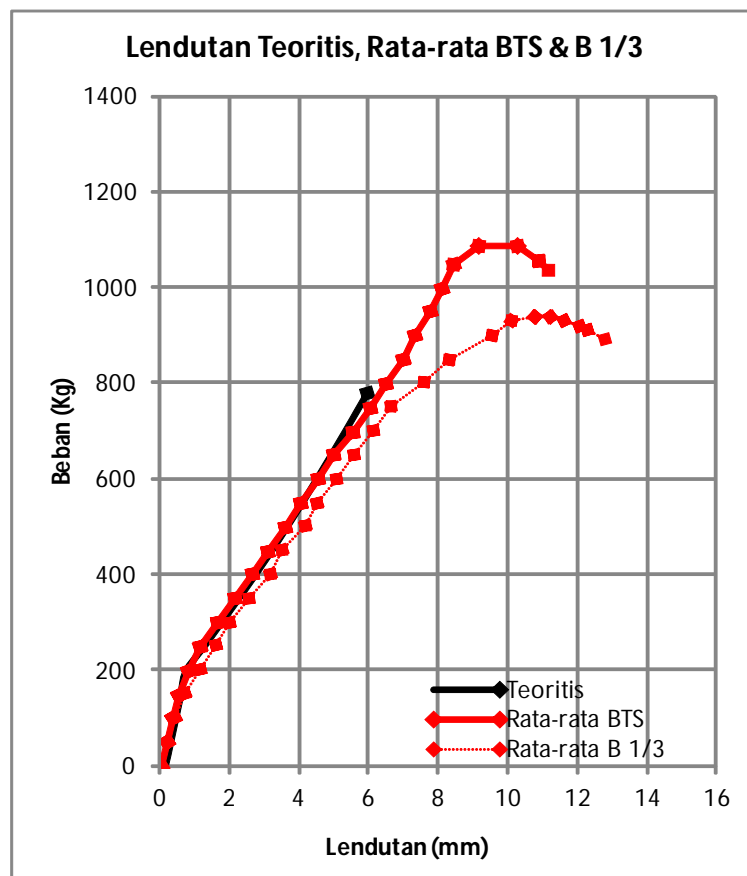
Grafik 4.9. Hubungan Beban-Lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata dan teoritis



Hubungan beban-lendutan balok sambungan sepertiga bentang rata-rata dan teoritis pada grafik 4.9 di atas terjadi perbedaan, dimana balok sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.69 mm. Beban puncak terjadi pada P = 940 Kg dengan besar defleksi Δ = 11.21 mm, dan beban terus diberikan hingga P minimum 890 Kg dengan besar defleksi Δ 12.74 mm.

Grafik balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 200 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.71 mm. Beban puncak terjadi pada P = 778,97 Kg dengan besar defleksi Δ = 5,88 mm.

Grafik 4.10. Hubungan Beban-Lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis



Hubungan beban-lendutan balok tanpa sambungan rata-rata, balok sepertiga (1/3) bentang rata-rata dan teoritis pada grafik 4.10 di atas terjadi perbedaan, dimana balok tanpa sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.55 mm. Beban puncak terjadi pada P = 1190 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9.19$ mm, dan beban terus diberikan hingga P minimum 1036.67 Kg dengan besar defleksi Δ 11.13 mm.

Grafik balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga (1/3) bentang rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.69 mm. Beban puncak terjadi pada P = 940 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11.21$ mm, dan beban terus diberikan hingga P minimum 980 Kg dengan besar defleksi Δ 12.74 mm.

Grafik balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 200 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.71 mm. Beban puncak terjadi pada P = 778,97 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 5,88$ mm.

4. Perbandingan Lendutan BTS dan (B-1/3)

Berdasarkan hasil eksperimen, didapat perbedaan nilai P_{maks} rata-rata dan lendutan rata-rata pada balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan sambungan sepertiga bentang (B-1/3).

Tabel 4.8. Perbandingan Lendutan BTS dan (B-1/3)

No	Parameter	BTS	B - 1/3	Perbedaan %
1	Pmaks	1090	940	13,76146789
2	Lendutan (Δ) rata-rata BTS	9,19	11,21	-21,9804135

Dari tabel 4.12. terjadi perbedaan P_{maks} sebesar 13,76147 % dan nilai lendutan sebesar -21,9804%.

4.1.3. Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen

1. Balok Tanpa Sambungan

Data perencanaan :

- $l = 2000 \text{ mm}$
- $q = 0,36 \text{ N/mm}$
- $E_c = 20149,794 \text{ Mpa}$
- $I_e = 28125000 \text{ N/mm}$
- $\Delta = 0,22 \text{ (pada beban 50kg)}$

Mencari nilai P dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

$$0,22 = \frac{P \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot 0,36 \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = P \cdot 0,000294 + 0,132342$$

$$P = 298,06 \text{ N}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot p \cdot l \\ &= \frac{1}{8} \cdot 0,36 \cdot 2000^2 + \frac{1}{4} \cdot 298,06 \cdot 2000 \\ &= 329030,552 \text{ Nmm.} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.8*.

Tabel 4.9. *Kuat Lentur Balok Eksperimen Tanpa Sambungan rata-rata*

No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Lentur (Nmm)	Defleksi rata-rata
1	2	3	4	5	6	7
1	0,00	0,000	0,36	2000	180000,000	0,00
2	50,00	298,06	0,36	2000	329030,552	0,22
3	100,00	740,097	0,36	2000	550048,605	0,35
4	150,00	1408,819	0,36	2000	884409,250	0,55
5	200,00	1938,228	0,36	2000	1149113,875	0,82
6	250,00	2308,116	0,36	2000	1334057,992	1,15
7	300,00	2806,353	0,36	2000	1583176,583	1,64
8	350,00	3299,293	0,36	2000	1829646,635	2,13
9	400,00	3871,788	0,36	2000	2115893,983	2,65
10	450,00	4378,318	0,36	2000	2369159,030	3,12
11	500,00	4917,704	0,36	2000	2638852,202	3,60
12	550,00	5450,402	0,36	2000	2905201,145	4,06
13	600,00	6026,389	0,36	2000	3193194,522	4,54
14	650,00	6631,809	0,36	2000	3495904,736	5,03
15	700,00	7324,279	0,36	2000	3842139,328	5,58
16	750,00	7920,685	0,36	2000	4140342,263	6,06
17	800,00	8477,078	0,36	2000	4418538,817	6,50
18	850,00	9134,260	0,36	2000	4747129,946	7,01
19	900,00	9540,741	0,36	2000	4950370,661	7,34
20	950,00	10096,417	0,36	2000	5228208,589	7,77
21	1000,00	10542,145	0,36	2000	5451072,540	8,12

22	1050,00	10972,697	0,36	2000	5666348,555	8,46
23	1090,00	11940,239	0,36	2000	6150119,297	9,19
24	1086,67	13488,571	0,36	2000	6924285,451	10,32
25	1056,67	14330,196	0,36	2000	7345097,973	10,95
26	1036,67	14582,233	0,36	2000	7471116,696	11,13

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.13.

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom3

Beban eksperimen (P) N

➤ Kolom 4

Beban merata (q) Nmm

$q = b \times h \times \text{Berat jenis beton}$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 6

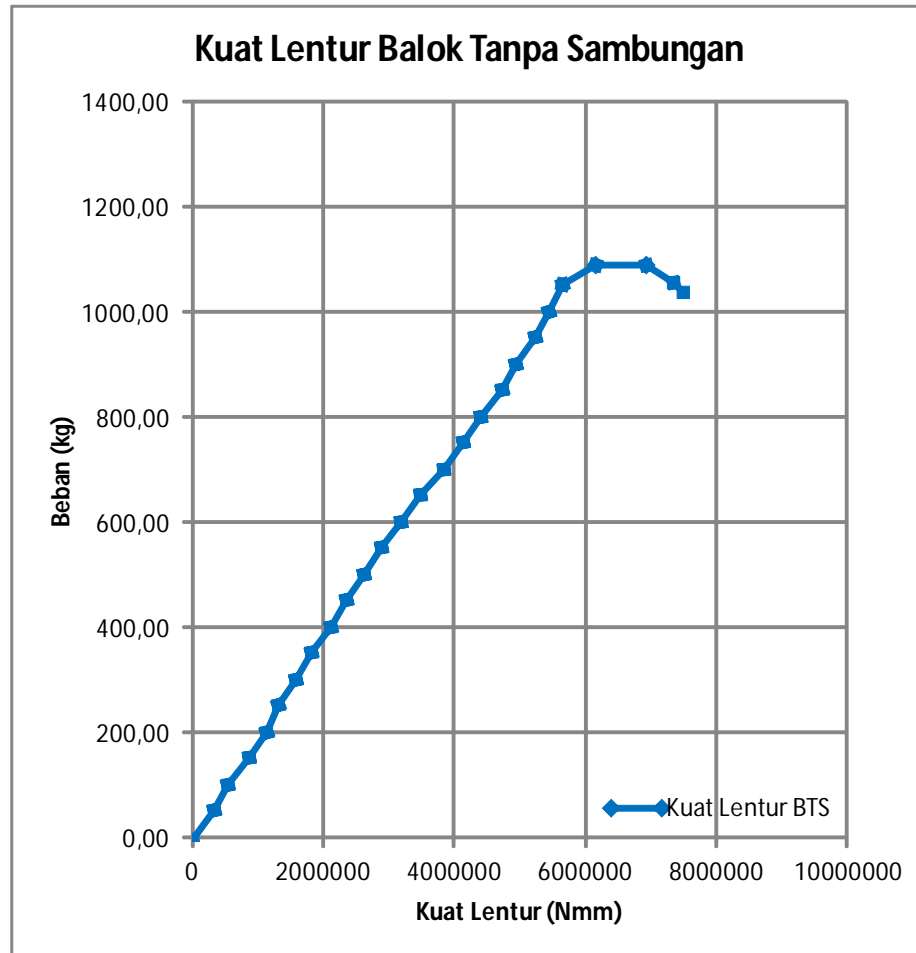
Kuat Lentur (M) Kgmm

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

➤ Kolom 7

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

Grafik 4.11. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok tanpa sambungan rata-rata



Hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada Grafik 4.17 adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.12 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis). Dan terlihat pada beban maksimum 1090 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 6150119,297 Nmm, sedangkan pada beban minimum 1036.67 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7471116,696 Nmm.

2. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)

Data perencanaan :

$$\begin{aligned}l &= 2000 \text{ mm} \\q &= 0,36 \text{ N/mm} \\E_c &= 20149,794 \text{ Mpa} \\I_e &= 28125000 \text{ N/mm} \\ \Delta &= 0,22 \text{ (pada beban 50kg)}\end{aligned}$$

Mencari nilai P dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

$$0,22 = \frac{P \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot 0,36 \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = P \cdot 0,000294 + 0,132342$$

$$P = 298,06 \text{ N}$$

Jadi :

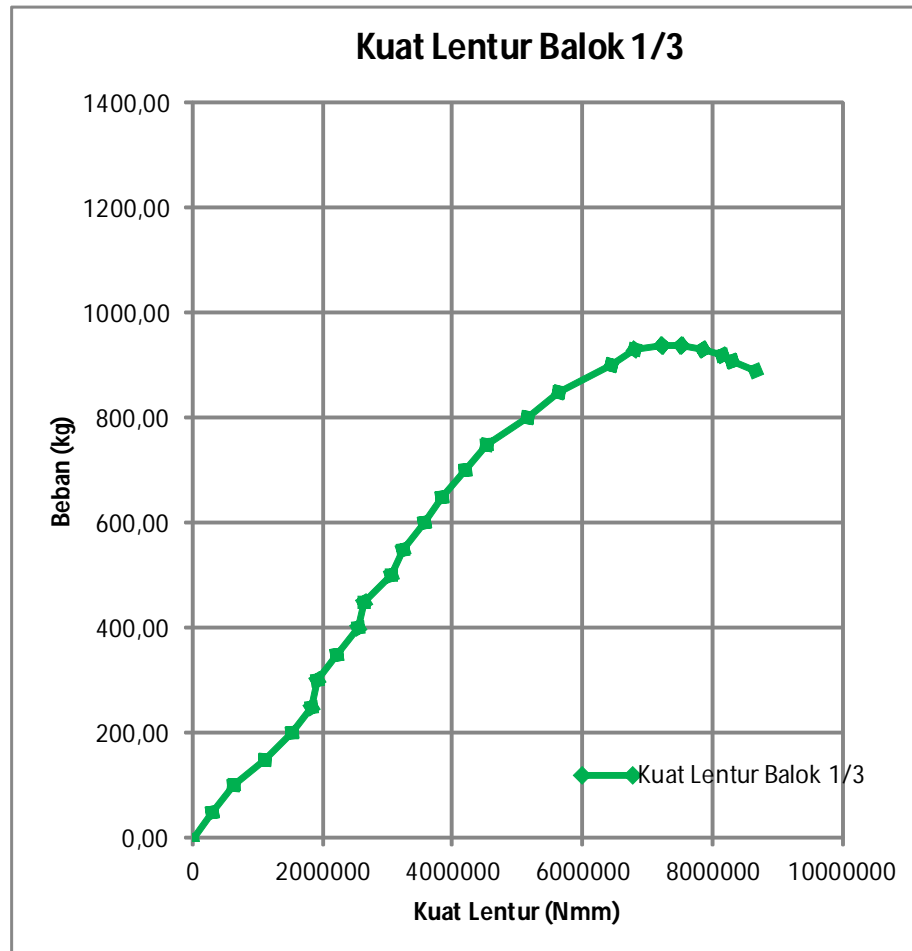
$$\begin{aligned}M_2 &= \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot p \cdot l \\ &= \frac{1}{8} \cdot 0,36 \cdot 2000^2 + \frac{1}{4} \cdot 298,06 \cdot 2000 \\ &= 329030,552 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.9*.

Tabel 4.10. Kuat Lentur Balok Eksperimen dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang ($1/3$) rata-rata

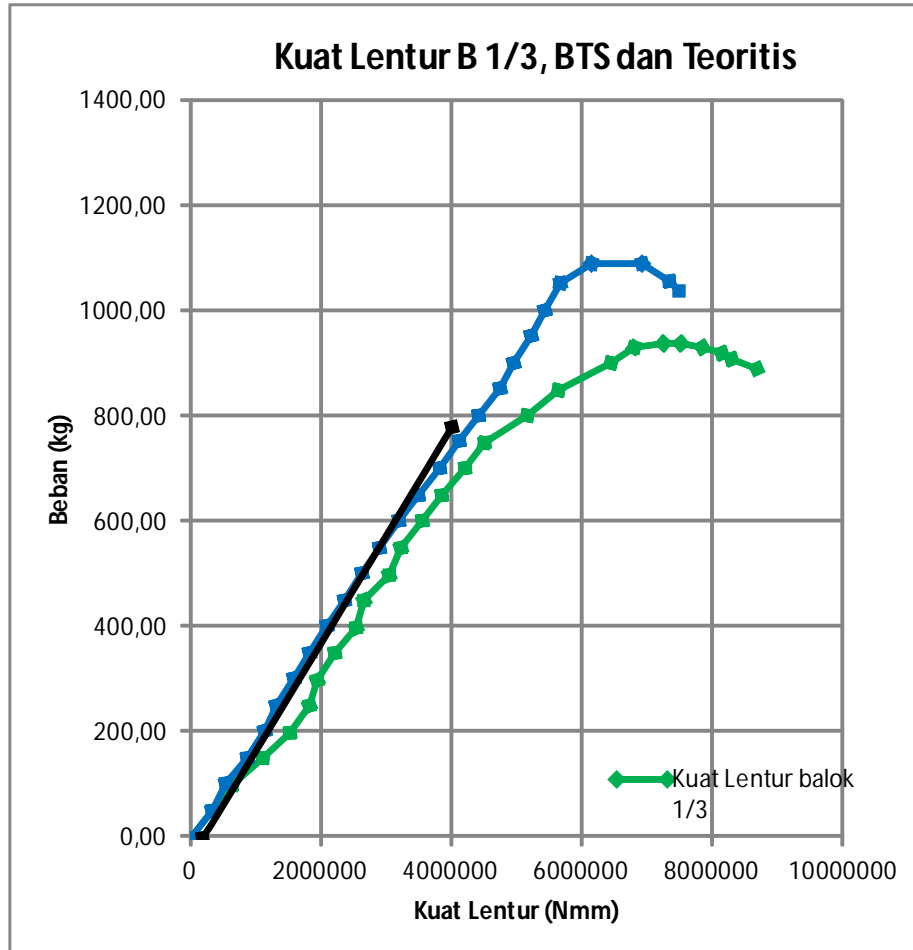
No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Lentur (Nmm)	Defleksi rata-rata
1	2	3	4	5	6	7
1	0,00	0,000	0,36	2000	180000,000	0,00
2	50,00	298,06	0,36	2000	329030,552	0,22
3	100,00	927,113	0,36	2000	643556,468	0,41
4	150,00	1879,191	0,36	2000	1119595,353	0,69
5	200,00	2711,324	0,36	2000	1535662,011	1,17
6	250,00	3304,545	0,36	2000	1832272,743	1,57
7	300,00	3531,091	0,36	2000	1945545,284	2,01
8	350,00	4080,886	0,36	2000	2220442,994	2,57
9	400,00	4744,300	0,36	2000	2552150,046	3,19
10	450,00	4958,645	0,36	2000	2659322,478	3,50
11	500,00	5765,891	0,36	2000	3062945,721	4,17
12	550,00	6124,319	0,36	2000	3242159,302	4,52
13	600,00	6787,758	0,36	2000	3573878,763	5,07
14	650,00	7349,846	0,36	2000	3854923,003	5,54
15	700,00	8076,628	0,36	2000	4218314,194	6,12
16	750,00	8699,246	0,36	2000	4529622,950	6,62
17	800,00	9953,479	0,36	2000	5156739,558	7,58
18	850,00	10913,088	0,36	2000	5636543,888	8,32
19	900,00	12555,659	0,36	2000	6457829,335	9,56
20	930,00	13246,323	0,36	2000	6803161,416	10,10
21	940,00	14130,266	0,36	2000	7245133,239	10,78
22	940,00	14712,124	0,36	2000	7536061,987	11,21
23	930,00	15352,794	0,36	2000	7856397,007	11,61
24	920,00	15958,500	0,36	2000	8159249,860	12,06
25	910,00	16251,144	0,36	2000	8305572,025	12,27
26	890,00	16960,191	0,36	2000	8660095,458	12,74

Grafik 4.12 Hubungan Beban – Kuat Lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata



Hubungan beban – kuat lentur balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.18 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.14 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis). Dan terlihat pada beban maksimum 940 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7536061,987 Nmm, sedangkan pada beban minimum 890 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 8660095,458Nmm.

Grafik 4.13. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis



Hubungan beban – kuat lentur balok tanpa sambungan rata-rata, balok sepertiga (1/3) bentang rata-rata dan teoritis pada grafik 4.19 di atas terjadi perbedaan, beban puncak terjadi pada $P_{maks} = 1190 \text{ Kg}$ dengan nilai kuat lentur $6150119,297 \text{ Nmm}$, dan beban terus diberikan hingga beban minimum $1036,67 \text{ Kg}$ dengan kuat lentur $7471116,696 \text{ Nmm}$. Untuk balok dengan jarak sambungan sepertiga bentang (B-1/3) beban puncak terjadi pada $P = 940 \text{ Kg}$ dengan nilai kuat lentur $7536061,987 \text{ Nmm}$, dan beban terus diberikan hingga P minimum 890 Kg

dengan nilai kuat lentur 8660095,458Nmm, sedangkan untuk nilai kuat lentur teoritis pada beban $P_{maks} = 778,97$ Kg kuat lentur 4000847,85Nmm.

3. Perbandingan kuat lentur BTS dan (B-1/3)

Berdasarkan hasil eksperimen, didapat perbedaan nilai P_{maks} rata-rata dan kuat lentur rata-rata pada balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan sambungan sepertiga bentang (B-1/3).

Tabel 4.11. Perbandingan kuat lentur BTS dan (B-1/3)

No	Parameter	BTS	B - 1/3	Perbedaan %
1	P_{maks}	1090	940	13,76146789
2	Kuat lentur BTS (Nmm)	6150119,297	7536061,987	-22,5352164

Dari tabel 4.15. terjadi perbedaan P_{maks} sebesar 13,76147 % dan nilai kuat lentur sebesar -22,5352%.

4.1.4. Perhitungan Kuat Geser Eksperimen

1. Balok Tanpa Sambungan

Data perencanaan :

- $l = 2000$ mm
- $q = 0,36$ N/mm
- $E_c = 20149,794$ Mpa
- $I_e = 28125000$ N/mm
- $\Delta = 0,22$ (pada beban 50kg)

Mencari nilai P dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

$$0,22 = \frac{P \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot 0,36 \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = P \cdot 0,000294 + 0,132342$$

$$P = 298,06 \text{ N}$$

Jadi :

$$Vu = \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right)$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot 298,06 + \frac{1}{2} \cdot 0,36 \cdot 2000 \right)$$

$$= 712,6428 \text{ N}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.10*.

Tabel 4.12. *Kuat Geser Balok Eksperimen Tanpa Sambungan rata-rata*

No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Geser (N)	Defleksi rata-rata
1	2	4	5	6	7	8
1	0,00	0,00	0,36	2000	360	0,00
2	50,00	298,06	0,36	2000	509,0306	0,22
3	100,00	740,10	0,36	2000	730,0486	0,35
4	150,00	1408,82	0,36	2000	1064,409	0,55
5	200,00	1938,23	0,36	2000	1329,114	0,82
6	250,00	2308,12	0,36	2000	1514,058	1,15
7	300,00	2806,35	0,36	2000	1763,177	1,64
8	350,00	3299,29	0,36	2000	2009,647	2,13
9	400,00	3871,79	0,36	2000	2295,894	2,65

10	450,00	4378,32	0,36	2000	2549,159	3,12
11	500,00	4917,70	0,36	2000	2818,852	3,60
12	550,00	5450,40	0,36	2000	3085,201	4,06
13	600,00	6026,39	0,36	2000	3373,195	4,54
14	650,00	6631,81	0,36	2000	3675,905	5,03
15	700,00	7324,28	0,36	2000	4022,139	5,58
16	750,00	7920,68	0,36	2000	4320,342	6,06
17	800,00	8477,08	0,36	2000	4598,539	6,50
18	850,00	9134,26	0,36	2000	4927,13	7,01
19	900,00	9540,74	0,36	2000	5130,371	7,34
20	950,00	10096,42	0,36	2000	5408,209	7,77
21	1000,00	10542,15	0,36	2000	5631,073	8,12
22	1050,00	10972,70	0,36	2000	5846,349	8,46
23	1090,00	11940,24	0,36	2000	6330,119	9,19
24	1086,67	13488,57	0,36	2000	7104,285	10,32
25	1056,67	14330,20	0,36	2000	7525,098	10,95
26	1036,67	14582,23	0,36	2000	7651,117	11,13

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.16.

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Beban eksperimen (P) N

➤ Kolom 4

Beban merata (q) Nmm

$q = b \times h \times \text{Berat jenis beton}$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 6

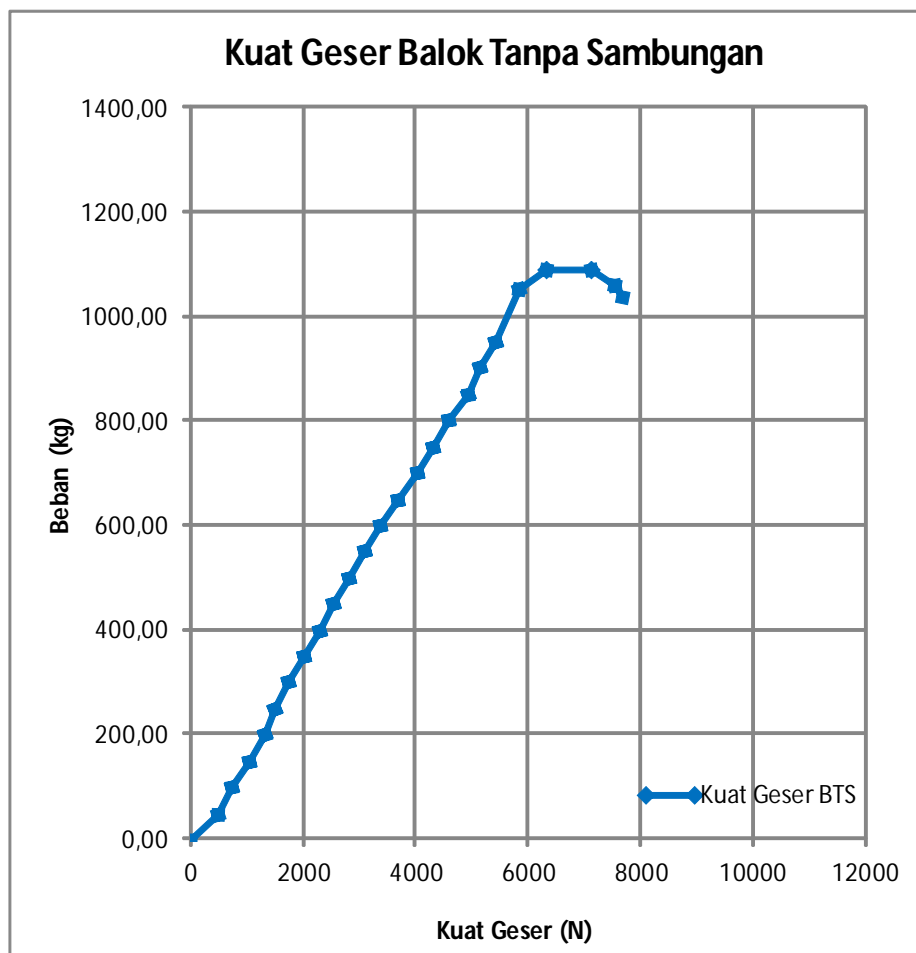
Kuat geser balok (V_u) N

$$V_u = 1.4 \times \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right)$$

➤ Kolom 7

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

Grafik 4.14. Hubungan Beban – Kuat Geser balok tanpa sambungan rata-rata



Hubungan beban – kuat geser balok beton tanpa sambungan rata-rata yang terlihat pada Grafik 4.20 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.16 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis). Dan terlihat pada beban maksimum 1090 Kg, mengalami kuat geser sebesar 6330,119 N, sedangkan pada beban minimum 1036.67 Kg, mengalami kuat geser sebesar 7651,117 N.

2. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)

Data perencanaan :

$$l = 2000 \text{ mm}$$

$$q = 0,36 \text{ N/mm}$$

$$E_c = 20149,794 \text{ Mpa}$$

$$I_e = 28125000 \text{ N/mm}$$

$$\Delta = 0,22 \text{ (pada beban 50kg)}$$

Mencari nilai P dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

$$0,22 = \frac{P \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot 0,36 \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = P \cdot 0,000294 + 0,132342$$

$$P = 298,06 \text{ N}$$

Jadi :

$$\begin{aligned}
 V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \cdot 298,06 + \frac{1}{2} \cdot 0,36 \cdot 2000 \right) \\
 &= 712,6428 \text{ N}
 \end{aligned}$$

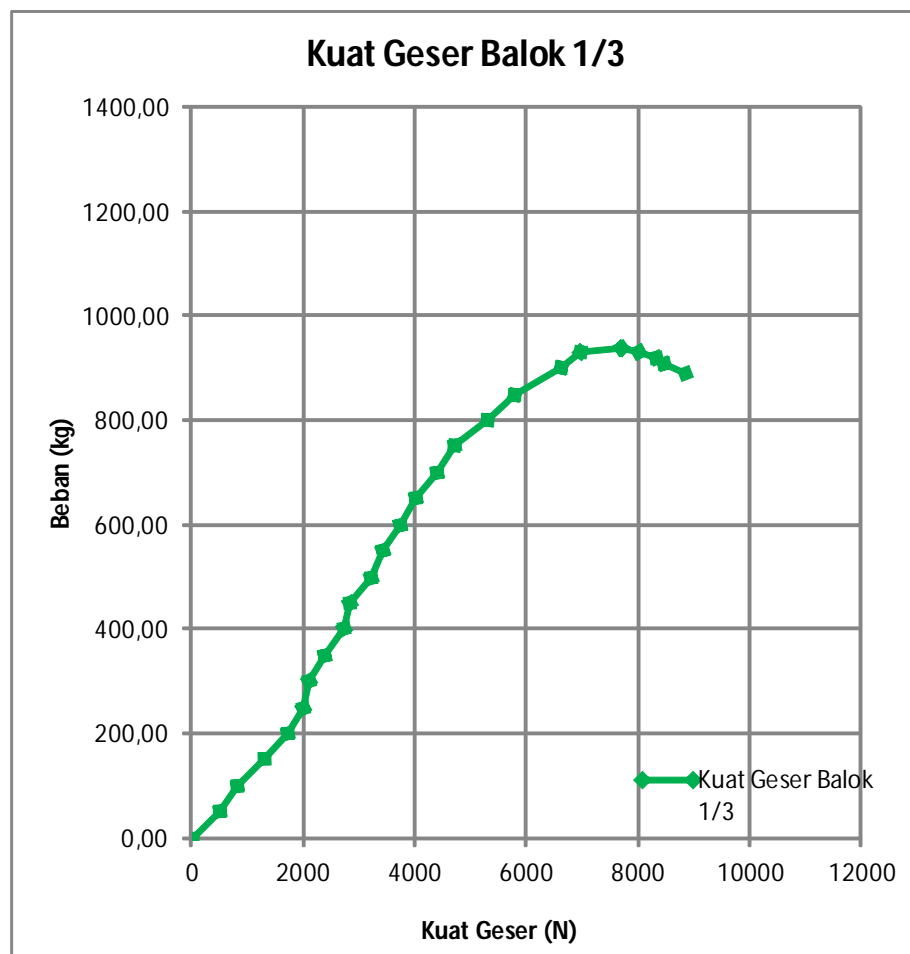
Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.11*.

Tabel 4.13. *Kuat Geser Balok Eksperimen dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata*

No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Geser (Kg)	Defleksi rata-rata
1	2	4	5	6	7	8
1	0,00	0	0,36	2000	360	0,00
2	50,00	298,0611039	0,36	2000	509,03055	0,22
3	100,00	927,1129367	0,36	2000	823,55647	0,41
4	150,00	1879,190705	0,36	2000	1299,5954	0,69
5	200,00	2711,324	0,36	2000	1715,662	1,17
6	250,00	3304,545485	0,36	2000	2012,2727	1,57
7	300,00	3531,090567	0,36	2000	2125,5453	2,01
8	350,00	4080,885988	0,36	2000	2400,443	2,57
9	400,00	4744,300091	0,36	2000	2732,15	3,19
10	450,00	4958,644956	0,36	2000	2839,3225	3,50
11	500,00	5765,891442	0,36	2000	3242,9457	4,17
12	550,00	6124,318603	0,36	2000	3422,1593	4,52
13	600,00	6787,757525	0,36	2000	3753,8788	5,07
14	650,00	7349,846006	0,36	2000	4034,923	5,54
15	700,00	8076,628387	0,36	2000	4398,3142	6,12
16	750,00	8699,2459	0,36	2000	4709,623	6,62
17	800,00	9953,479117	0,36	2000	5336,7396	7,58
18	850,00	10913,08778	0,36	2000	5816,5439	8,32
19	900,00	12555,65867	0,36	2000	6637,8293	9,56
20	930,00	13246,32283	0,36	2000	6983,1614	10,10
21	940,00	14130,26648	0,36	2000	7425,1332	10,78
22	940,00	14712,12397	0,36	2000	7716,062	11,21

23	930,00	15352,79401	0,36	2000	8036,397	11,61
24	920,00	15958,49972	0,36	2000	8339,2499	12,06
25	910,00	16251,14405	0,36	2000	8485,572	12,27
26	890,00	16960,19092	0,36	2000	8840,0955	12,74

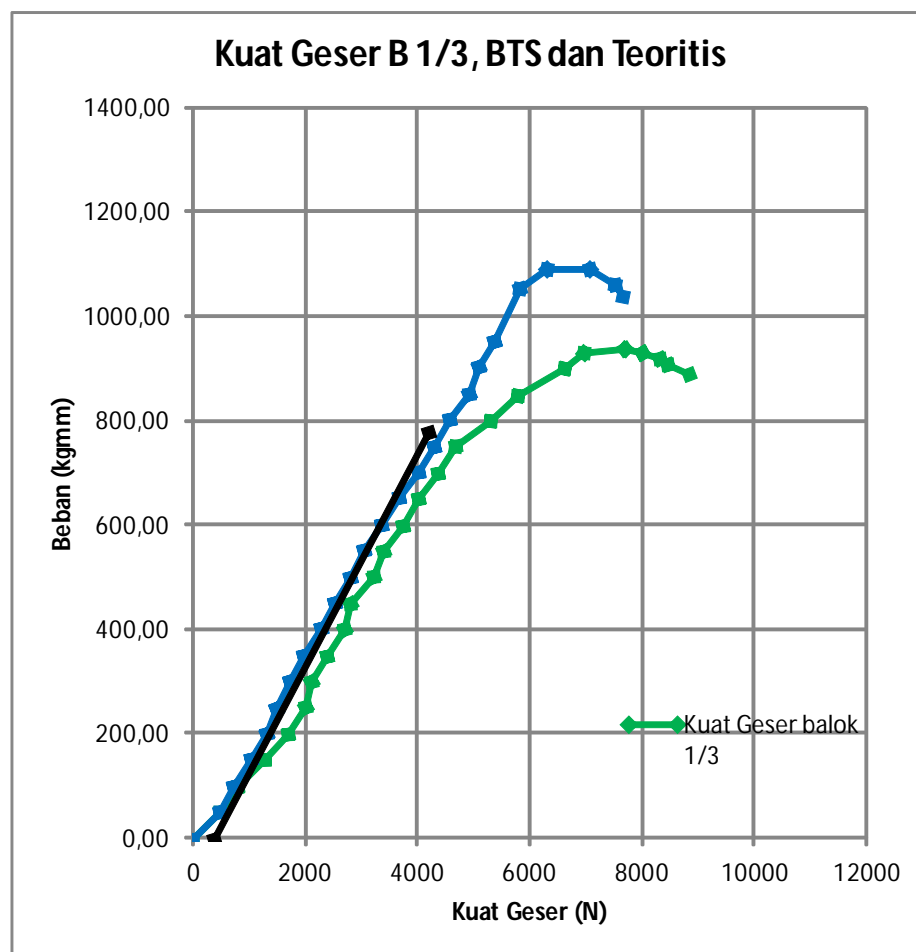
Grafik 4.15. Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata



Hubungan beban – Kuat geser balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang rata-rata yang terlihat pada Grafik 4.21 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka

pada Tabel 4.17 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis). Dan terlihat pada beban maksimum 940 Kg, mengalami kuat geser sebesar 7716,062 N, sedangkan pada beban minimum 890 Kg, mengalami kuat geser sebesar 8840,0955 N.

Grafik 4.16. Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis



Hubungan beban – kuat geser balok tanpa sambungan rata-rata, balok sepertiga (1/3) bentang rata-rata dan teoritis pada grafik 4.22 di atas terjadi

perbedaan, beban puncak terjadi pada $P_{maks} = 1190$ Kg dengan nilai kuat geser sebesar 6330,119 N, dan beban terus diberikan hingga beban P minimum 1036.67 Kg dengan kuat geser sebesar 7651,117 N. Untuk balok dengan jarak sambungan sepertiga bentang (B-1/3) beban puncak terjadi pada $P = 940$ Kg dengan nilai kuat geser sebesar 7716,062 N, dan beban terus diberikan hingga P minimum 890 Kg dengan nilai kuat geser sebesar 8840,0955 N, sedangkan untuk nilai kuat geser teoritis pada beban $P_{maks} = 778,97$ Kg kuat geser 4180,84785 N.

3. Perbandingan kuat geser BTS dan (B-1/3)

Berdasarkan hasil eksperimen, didapat perbedaan nilai P_{maks} rata-rata dan kuat geser rata-rata pada balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan sambungan sepertiga bentang (B-1/3).

Tabel 4.18. Perbandingan kuat geser BTS dan (B-1/3)

No	Parameter	BTS	B - 1/3	Perbedaan %
1	P_{maks}	1090	940	13,76146789
2	Kuat geser BTS (N)	8862,167	10802,487	-21,8944193

Dari tabel 4.15. terjadi perbedaan P_{maks} sebesar 13,76147 % dan nilai kuat lentur sebesar -21,8944%.

4.2. Pembahasan

Dalam penelitian pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sepertiga bentang ($B/3$) terhadap kekuatan balok yang dilaksanakan di laboratorium beton program studi teknik sipil ITN Malang dan laboratorium beton program studi teknik sipil Universitas Brawijaya, dengan benda uji berupa 5 buah silinder berukuran 150 x 300 mm dan 5 buah balok berukuran 100 x 150 x 2000 mm dengan rincian 3 buah balok tanpa sambungan (BTS) dan 2 buah balok disambung dengan jarak sepertiga bentang ($B/3$).

Dalam penelitian ini menganalisa lendutan, kuat lentur dan kuat geser dengan hasil analisa eksperimen sebagai berikut:

1. Lendutan

Analisa lendutan balok tanpa sambungan A (BTS)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan A (BTS-A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=200\text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 0,78\text{ mm}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1100\text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 8,95\text{ mm}$. Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1100\text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1060\text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 10,46\text{ mm}$.

Analisa lendutan balok tanpa sambungan B (BTS)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan B (BTS-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=100$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0,38$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1070$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9,99$ mm. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1070$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 960$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11,78$ mm.

Analisa lendutan balok tanpa sambungan C (BTS)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan C (BTS-C) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0,51$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9,76$ mm. Seperti terlihat dalam Gambar 4.3, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1150$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1080$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11,38$ mm.

Hasil analisa dari ketiga balok tersebut, di ambil nilai rata-rata beban P dan lendutan, beban puncak terjadi pada $P = 1090$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9,19$ mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum $1036,67$ Kg dengan besar defleksi $\Delta 11,13$ mm. Data bisa dilihat pada tabel 4.4 dan grafik 4.4.

Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3) A

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 0,67 \text{ mm}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 930 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 10,83 \text{ mm}$. Seperti terlihat dalam Gambar 4.4, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 930 \text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 890 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 12,74 \text{ mm}$.

Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3) B

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 0,70 \text{ mm}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 960 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 11,18 \text{ mm}$. Seperti terlihat dalam Gambar 4.5, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 960 \text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 920 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 12,26 \text{ mm}$.

Hasil analisa dari kedua balok tersebut, di ambil nilai rata-rata beban P dan lendutan, beban puncak terjadi pada $P = 940$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11.21$ mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 890 Kg dengan besar defleksi $\Delta 12.74$ mm. Data bisa dilihat pada tabel 4.7 dan grafik 4.9.

2. Kuat Lentur akibat beban eksperimen

Analisa kuat lentur balok tanpa sambungan (BTS)

Analisa kuat lentur balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban P eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban P eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum $P = 1090$ Kg, mengalami kuat lentur sebesar 6150119,297 Nmm, sedangkan pada beban minimum $P = 1036.67$ Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7471116,696 Nmm. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.9. dan grafik 4.11.

Analisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3)

Analisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3) didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban P eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban P eksperimen. Dan terlihat pada beban maksimum $P = 940$ Kg, mengalami kuat

lentur sebesar 7536061,987 Nmm, sedangkan pada beban minimum $P = 890$ Kg, mengalami kuat lentur sebesar 8660095,458 Nmm. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.10. dan grafik 4.12.

3. Kuat Geser akibat beban eksperimen

Analisa kuat geser balok tanpa sambungan (BTS)

Analisa kuat geser balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban P eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat geser berdasarkan beban P eksperimen. Dan terlihat pada beban maksimum $P = 1090$ Kg, mengalami kuat geser sebesar 8862,167 N, sedangkan pada beban minimum $P = 1036.67$ Kg, mengalami kuat geser sebesar 10711,56 N. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.12. dan grafik 4.14.

Analisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3)

Analisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (B 1/3) didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban P eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat geser berdasarkan beban P eksperimen. Dan terlihat pada beban maksimum $P = 940$ Kg, mengalami kuat geser sebesar 10802,487 N, sedangkan pada beban minimum $P = 890$ Kg, mengalami kuat

geser sebesar 12376,134 N. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.13. dan grafik 4.15.

4. Mekanisme Pola Retak

1. Balok Tanpa Sambungan (BTS)

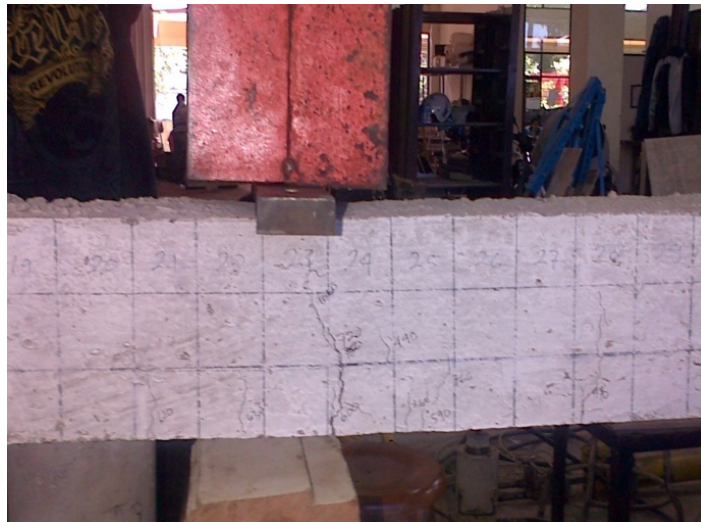
Mekanisme pola retak balok BTS-A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 5.2 cm pada tengah balok di posisi 22 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 200$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1100 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3.92 mm yang terdapat pada kotak 22 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.6 di bawah ini.

Gambar 4.6 Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-A



Mekanisme pola retak balok BTS-B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.7 cm pada tengah balok di posisi 23 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 100$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1070 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3.25 mm yang terdapat pada kotak 23 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.7 di bawah ini.

Gambar 4.7 Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-B



Mekanisme pola retak balok BTS-C, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 4.8 cm pada tengah balok di posisi 24 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 150$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1150 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3.36

mm yang terdapat pada kotak 24 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.8 di bawah ini.

Gambar 4.8 Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-C



2. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)

Mekanisme pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang $\pm 5,4$ cm pada sambungan balok di posisi 28 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 150$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 930 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3,64 mm yang terdapat pada kotak 28 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.9 di bawah ini.

Gambar 4.9 Pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang A (1/3)



Mekanisme pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang $\pm 5,8$ cm pada sambungan balok di posisi 24 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 150$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 960 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2,75 mm yang terdapat pada kotak 24 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.10 di bawah ini.

Gambar 4.10 Pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B ($1/3$)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis balok tanpa sambungan (BTS) dan balok sambungan sepertiga bentang (B 1/3) dengan dimensi 100mm x 150mm, tulangan longitudinal \varnothing 8mm dan tulangan sengkang \varnothing 4,5mm, dengan bentang 2000mm, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Terjadinya perbedaan nilai lendutan sebesar -21,9804% (B 1/3) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak sepertiga bentang (B 1/3) berpengaruh terhadap lendutan.
2. Terjadinya perbedaan nilai kuat lentur sebesar -22,5352% (B 1/3) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak sepertiga bentang (B 1/3) berpengaruh terhadap kuat lentur.
3. Terjadinya perbedaan nilai kuat geser sebesar -21,8944% (B 1/3) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak sepertiga bentang (B 1/3) berpengaruh terhadap kuat geser.
4. Posisi retak awal yang terjadi terhadap BTS, terjadi ditengah bentang atau retak awal diposisi pemberian beban terpusat, sedangkan B 1/3 retak awal lebih mendekati terhadap posisi sambungan. Jadi letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak sepertiga bentang (B 1/3) berpengaruh terhadap perilaku retak.

5. Dalam pelaksanaan dilapangan, metode sambungan beton dan tulangan longitudinal dengan jarak sepertiga bentang ($B/3$) tidak disarankan untuk diterapkan, karna lendutan, kuat lentur dan kuat geser terlalu besar pengaruhnya terhadap kekuatan balok.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kami dapat memberikan saran-saran untuk penelitian tingkat lanjut sebagai berikut;

1. Pembuatan benda uji sangat menentukan ketepatan hasil penelitian, antara lain dari segi kualitas, perawatan, maupun mobilisasi benda uji.
2. Memperbanyak variasi tulangan dan jumlah benda uji
3. Perlu diadakannya penelitian lanjutan dengan menggunakan lem beton pada sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif nurcahyo,0321011,2003,**Studi Penelitian Pengaruh Bahan Tambahan (Bond Crete) Terhadap Elemen Lentur (Balok) Antara Beton Lama Dan Baru Dengan Sambungan Miring Pada Jarak Sepertiga Panjang Balok**,ITN Malang
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Gedung SNI 03-2848-2002**, Bandung.
- Edward G. Ngawi,**Beton Bertulang,Suatu Pendekatan Dasar**,PT. Refika Aditama,Bandung 1998
- Imran, I., Kamaludin dan Hanafiah, “**Perilaku Sambungan Antara Elemen Beton**
- Priskasari E, dkk, **Kekuatan Lekatan (Bond) dan Panjang Penyaluran Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar Pada Beton Mutu Tinggi**, Penelitian Hibah Bersaing, 2010
- Setiawan B., 2006, **Tinjauan Kekuatan Dan Analisis Teoritis Model Sambungan Untuk Momen Dan Geser Pada Balok Beton Bertulang**, Ums Surakarta



TEST REPORT

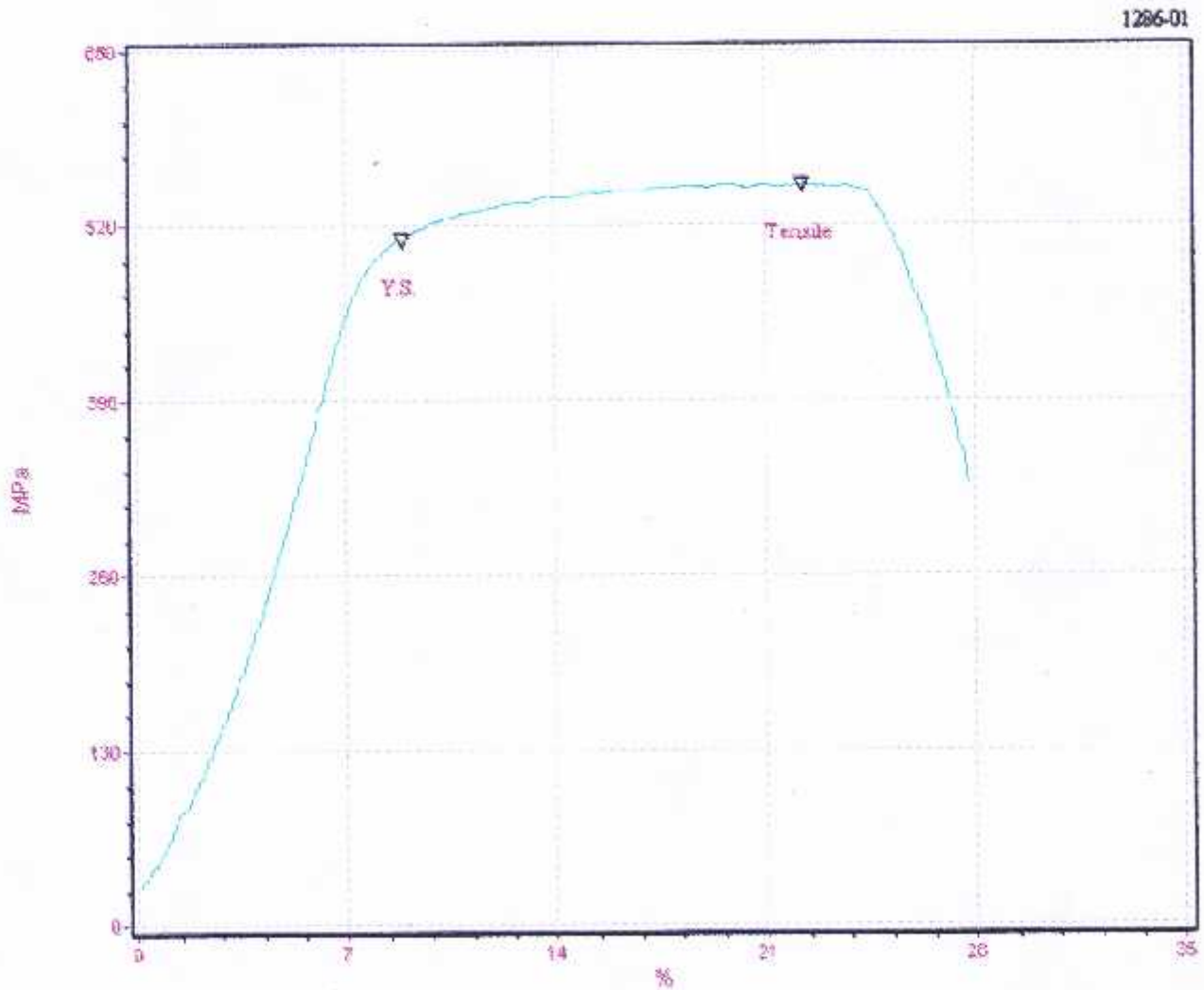
Test No : 1286

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 11/12/2012

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Besi Polos 4 (A)	15.90	8761.20	510.509	550.870	27.733



Kepala Laboratorium :

L Komang Astana Widi, ST, MT

NIP Y. 1030400405



TEST REPORT

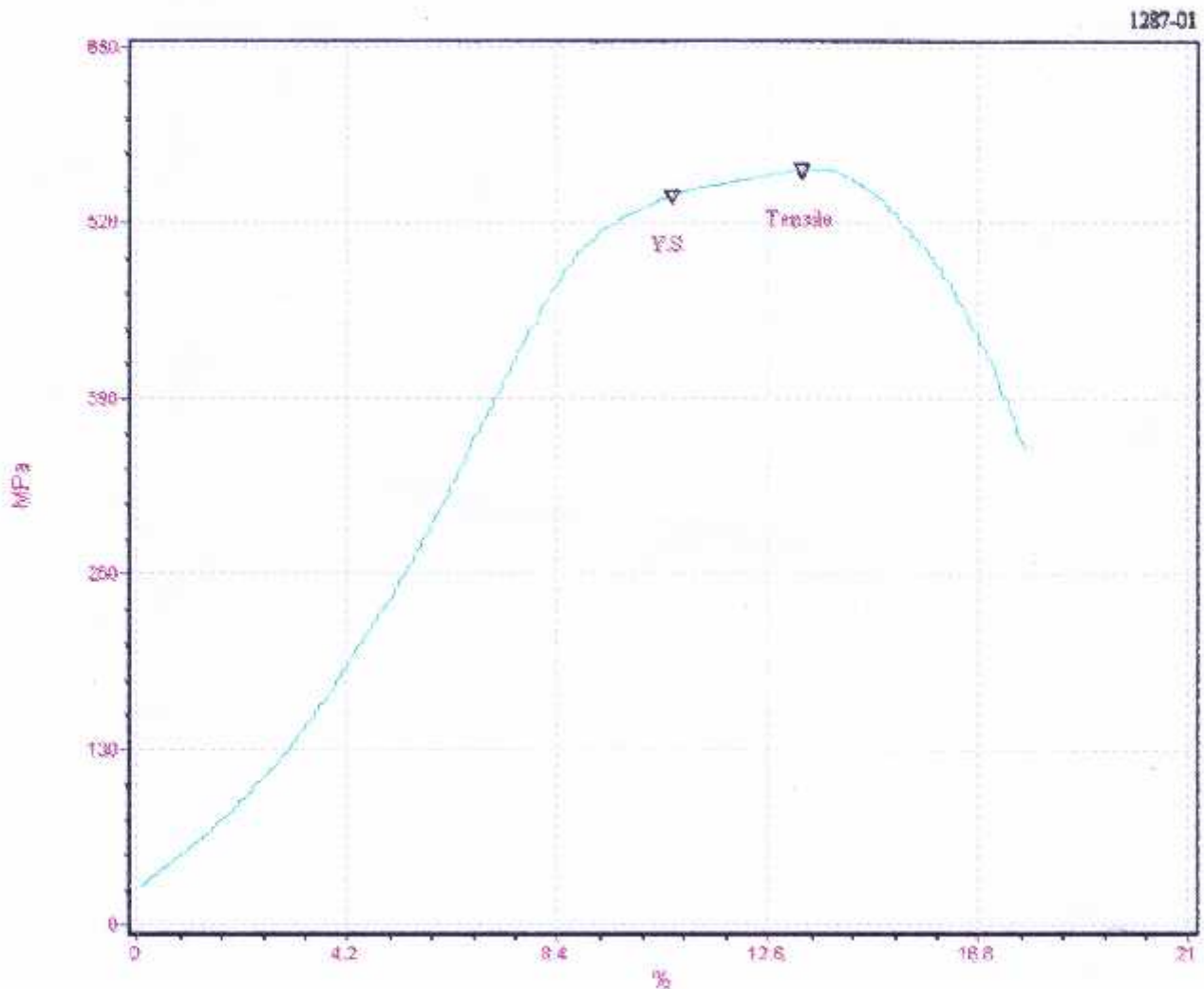
Test No : 1287

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 12/11/2012

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Besi Polos 4 (B)	15.90	8903.30	540.394	559.804	17.689



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST, MT

NIP Y. 1030400405



TEST REPORT

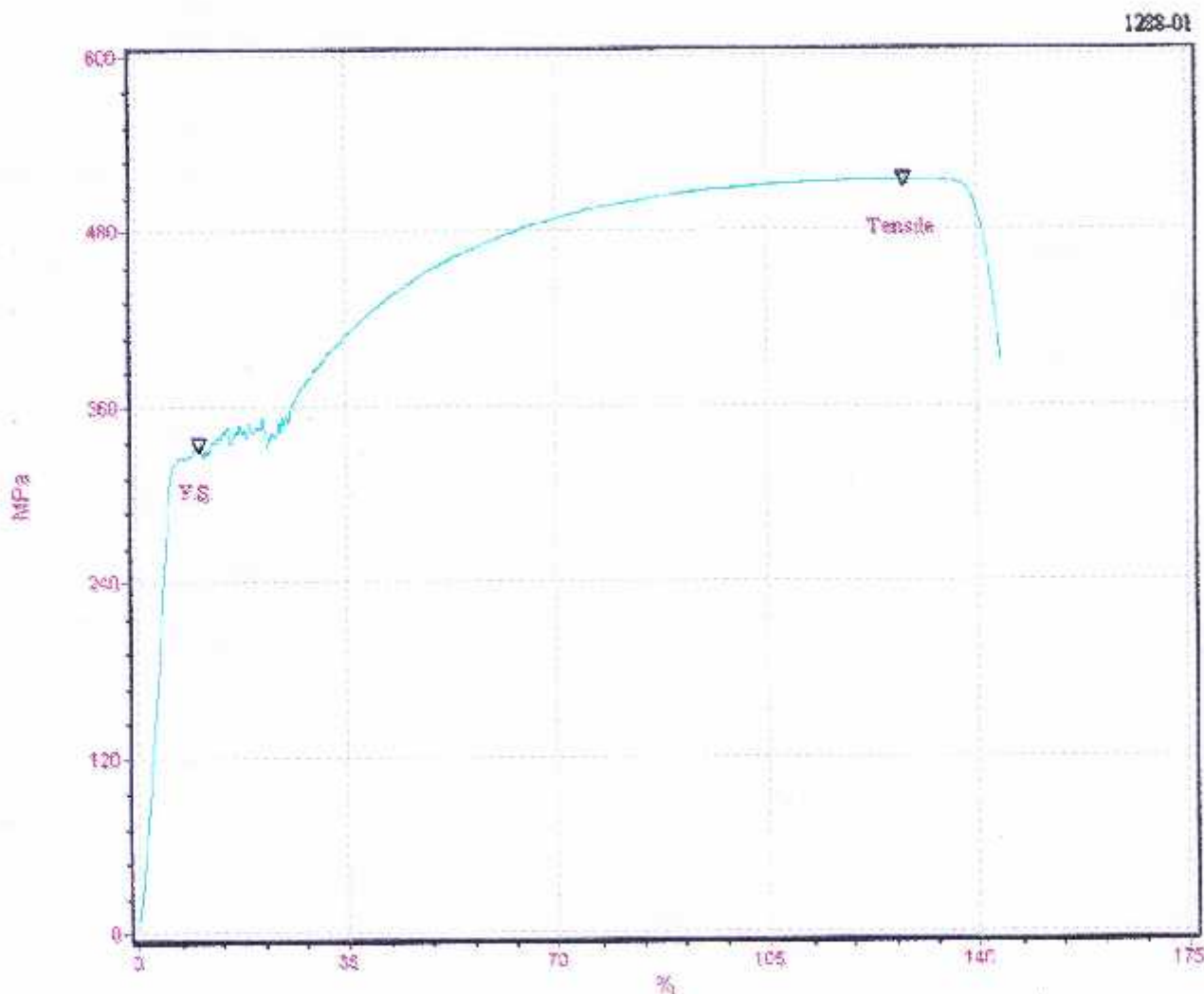
Test No : 1288

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 11/12/2012

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Besi Polos 8 (A)	50.27	25891.60	334.950	515.097	144.000



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST, MT

NIP Y. 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

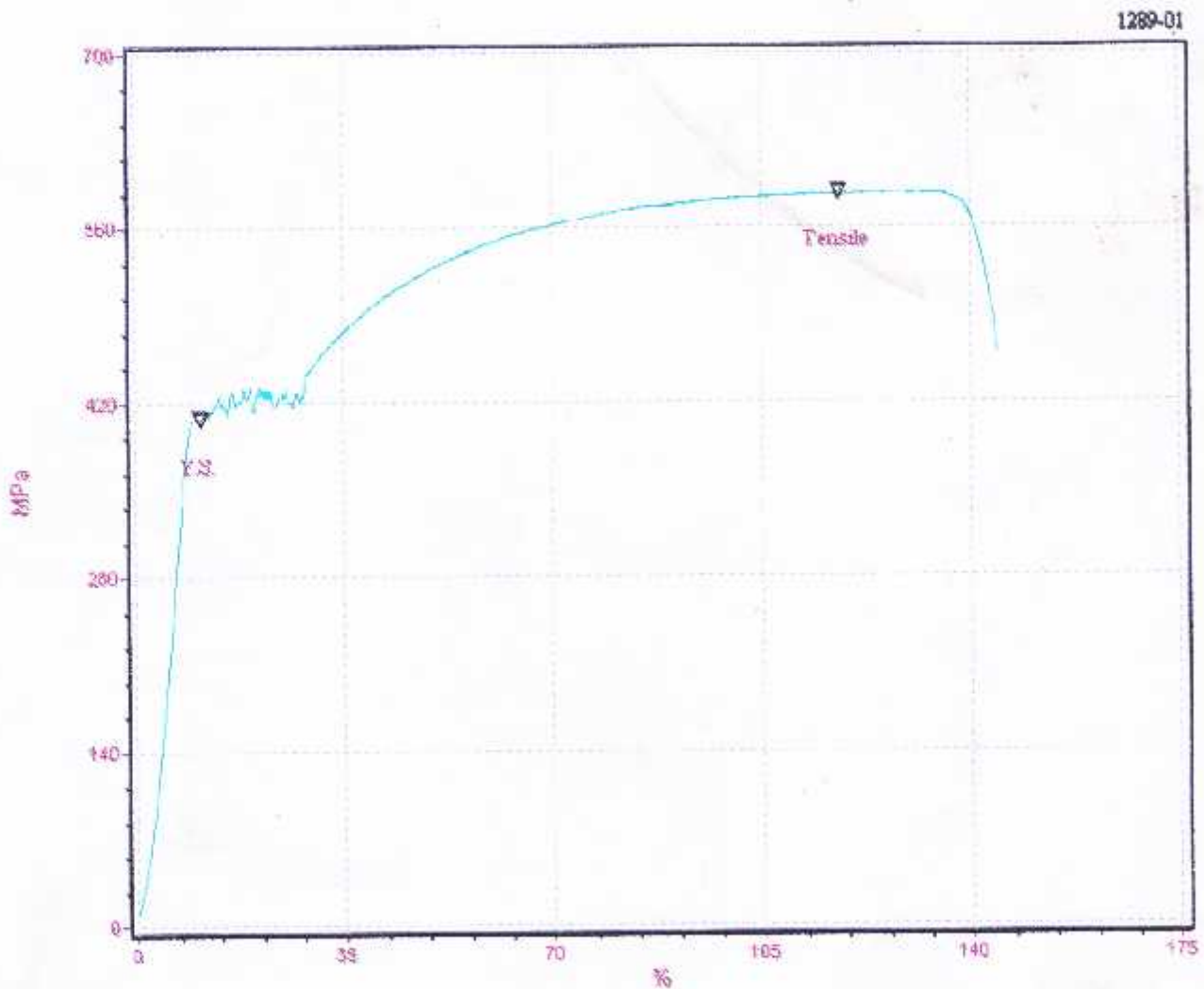
Test No : 1289

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 11/12/2012

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Besi Polos 8 (B)	50.27	29591.10	408.256	588.696	144.533



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



Besi tulangan $\varnothing 8\text{mm}$ & $\varnothing 4,5\text{mm}$



Pengujian besi tulangan $\varnothing 8\text{mm}$ & $\varnothing 4,5\text{mm}$



Hasil pengujian besi tulangan % sengkang



Pekerjaan pembesian



Pekerjaan pembesian



Begesting



Pengujian agregat halus (pasir)



Pengujian agregat kasar (koral)



Pengecoran tahap 1



Pengecoran tahap 1



Pengecoran tahap 2



Benda uji silinder



Pengecatan permukaan benda uji



Persiapan pengujian



Pengujian



Pengujian rekam retak



Hasil pengujian